



**Projet de fin d'études, en vue de l'obtention
du diplôme d'ingénieur d'état en génie chimique**

Thème :

**L'EMPREINTE ECOLOGIQUE ET LE BILAN CARBONE :
INDICATEURS DES IMPACTS DU DEVELOPPEMENT SUR
L'ENVIRONNEMENT**

Juin 2007

Présenté par :
A. BLIDI

Promoteur :
Pr. C.E CHITOUR

Membres du jury

Pr. K.MOUSSAOUI

Présidente

Dr. A. MEFTI

Examinatrice

Pr. R. KERBACHI

Examineur

Dr M.S. BOUZERIBA, DG de l'Aprue

Invité

Pr. C.E CHITOUR

Rapporteur

Préambule :

Ce travail a été réalisé dans le cadre des activités de recherches du Laboratoire de Valorisation des Énergies Fossiles, sous la direction de Monsieur le Professeur Chems Eddine Chitour, directeur de recherche.

ملخص :

يتميز العالم الحاضر بالاستهلاك المفرط للموارد الطاقوية. إن السياسات الجديدة لاقتصاد الطاقة ناتجة عن نفاذ بعض الموارد الطاقوية و لاعتبارات اقتصادية و جيوسياسية التي فرضها الانشغال الرامي إلى الحفاظ على البيئة

إن الأثر البيئي و حساب الكربون, يسمح لنا بتقييم مساهمة كل بلد في تلويث البيئة, حيث يظهران لنا بأسلوب واضح أثر النشاطات الإنسانية على النظام البيئي وعلى كوكب الأرض

هذه المساهمة المتواضعة, تهدف إلى توضيح مفهوم الأثر البيئي و حساب الكربون, وكذا تقديم و عرض نظام حسابي جديد يرمي إلى تحديد و تقييم أثر كل نشاط على البيئة, حتى يتمكن من اتخاذ التدابير الوقائية اللازمة على القطاعات الأكثر استهلاكاً للطاقة.

الكلمات المفتاحية: الموارد الطاقوية - الأثر البيئي - حساب الكربون - تلويث البيئة - استهلاك للطاقة.

Résumé :

Le monde actuel se caractérise par une consommation excessive en matière d'énergie. Les nouvelles politiques d'économie d'énergie sont induites par l'épuisement de certaines ressources, et par des considérations économiques et géopolitiques imposées par le souci de préservation de l'environnement.

L'empreinte écologique et le bilan carbone permettent d'évaluer les contributions de pays dans la dégradation de l'environnement puisqu'elles traduisent de manière claire l'impact des activités humaines sur les écosystèmes et la planète.

Cette modeste contribution a pour but d'explicitier ces deux concepts que sont l'empreinte écologique et le bilan carbone, et également de présenter un logiciel de calcul, à même de déterminer l'impact de chaque activité, afin de pouvoir ensuite agir directement sur les secteurs les plus énergivores.

Mots clés : sources d'énergie - empreinte écologique - bilan carbone - dégradation de l'environnement - consommation d'énergie.

Summary:

The current world is characterized by an excessive consumption of energy. The new politics of energy saving are motivated by the exhaustion of certain resources, economic and geopolitical considerations and the concern of the environment safeguarding.

The ecological footprint and the assessment carbon make it possible to evaluate the contributions of a country in the degradation of the environment since they translate in an easily understandable way the impact of human activities on the ecosystems and the planet.

The purpose of this modest contribution is to clarify these two concepts which are the ecological footprint and the assessment carbon and also to present computation software, capable to determine the impact of each activity, to be able to act directly on the sectors that consume more the energy.

Key words: energy resources - ecological footprint - assessment carbon - degradation of the environment - consumption of energy.

Remerciements :

Je remercie le Professeur CHITOUR C.E ; d'abord pour ses précieux cours, puis pour m'avoir encadrée et aidée à réaliser ce projet.

Je remercie tous les enseignants de l'Ecole Nationale Polytechnique, et en particulier ceux du département Génie Chimique.

Enfin, je remercie toutes les personnes qui, par leur soutien moral ou matériel, ont contribué à la réalisation de ce travail.

Trouvez ici le témoignage de ma reconnaissance.

Dédicaces :

Je dédie ce travail à mes très chers parents,
qui ont toujours été présents pour moi, même en étant loin ;
et qui m'ont toujours permis d'aller au bout de mes rêves ;

Je le dédie également :

A mes grands parents que j'aime énormément, que Dieu me les garde ;

A mon « *khoya* » et à ma chère petite sœur, à qui je souhaite beaucoup de succès ;

A ma tante et mon oncle, HADJ NACER Yasmina & Aflah, pour m'avoir consacré du temps, m'avoir orientée et soutenue;

A tous mes proches qui m'ont toujours soutenue ;

A M^r DERRAR N. pour tous ses précieux conseils, recommandations et suggestions qui m'ont permis de réaliser à bien ce mémoire ;

A mon amie, M^{elle} BEKKOUCHE S.A, sans qui je n'aurai pas pu réaliser le logiciel ;

A mes chers amis et amies, qui comptent beaucoup pour moi, et à qui je souhaite beaucoup de réussite, en particulier BENKAIDALI A. et TOUBALINE S.

Tables des matières :

INTRODUCTION GENERALE	11
-----------------------------	----

Chapitre I : « LES ENERGIES D’HIER ET DE DEMAIN »

I.1- INTRODUCTION	14
I.2- DEFINITION DE L’ENERGIE	15
I.3- LES ENERGIES NON RENOUVELABLES	15
I.3.1- Les énergies fossiles	15
I.3.1.1- <i>Le charbon</i>	15
I.3.1.2- <i>Le pétrole</i>	17
I.3.1.3- <i>Le gaz naturel</i>	17
I.3.2- L’énergie nucléaire	18
I.4- LES ENERGIES RENOUVELABLES	20
I.4.1- L’énergie solaire	21
I.4.2- L’énergie hydraulique	21
I.4.3- L’énergie éolienne	22
I.4.4- La biomasse	22
I.4.5- L’énergie géothermique	22
I.5- LES ENERGIES DU FUTUR	23
I.5.1- La pile à combustible	23
I.5.2- Les biocarburants	23
I.6- LES AUTRES ENERGIES POTENTIELLES	24
I.7- CONCLUSION	26

Chapitre II : « LE MONDE ACTUEL ET LES TENDANCES FUTURES »

II.1- INTRODUCTION	27
II.2- LES RESERVES MONDIALES D’ENERGIE	28
II.3- BILAN ENERGETIQUE MONDIAL	29
II.4- REPARTITION INEGALE DANS LE MONDE	30
II.4.1- Les pays industrialisés : USA	31
II.4.2- Les pays émergents : La chine	31
II.4.3- Les pays pauvres: L’Afrique	32
II.5- EVOLUTION GLOBALE DE LA CONSOMMATION	32
II.6- LES CONSEQUENCES DE LA CONSOMMATION ENERGETIQUE	34
II.6.1- Epuisement des ressources naturelles	35
II.6.2- Le changement climatique	35
II.6.2.1- <i>L’observation du système climatique</i>	36
II.6.2.2- <i>L’accentuation de gaz à effet de serre</i>	37
II.6.2.3- <i>La fonte des calottes glacières</i>	37
II.7- CONCLUSION	39

Chapitre III :EMPREINTE ECOLOGIQUE ET BIOCAPACITE DE LA TERRE: LE DEFICIT ECOLOGIQUE

III.1- INTRODUCTION	40
III.2- L'EMPREINTE ECOLOGIQUE	41
III.2.1- Définition de l'empreinte écologique	41
III.2.2- Le principe de l'empreinte écologique	41
III.2.3- Que prend-on en compte	42
III.2.4- La composition de l'empreinte écologique	43
III.2.5- L'empreinte écologique par région	44
III.2.6- Evolution de l'empreinte écologique	45
III.2.7- Points faibles de L'empreinte écologique	46
III.2.7.1- La profondeur réelle de l'empreinte écologique	46
III.2.7.2- L'épuisement de ressources non renouvelables	46
III.2.7.3- Les activités intrinsèquement non durables	46
III.2.7.4- La perte de diversité biologique	46
III.2.7.5- Le tourisme	47
III.2.8- Point forts de L'empreinte écologique	47
III.3- LA BIOCAPACITE DE LA TERRE	47
III.4- LA DETTE ECOLOGIQUE	48
III.4.1- Définition du déficit écologique	48
III.4.2- La terre en déficit écologique	48
III.4.3- Comment se fait-il que la vie sur Terre n'ait pas disparu alors que notre empreinte écologique est plus grande que la surface existante ?	50
III.4.5- Les pays débiteurs et créditeurs écologiques	51
III.5- CONCLUSION	52

Chapitre IV :« LE BILAN CARBONE »

IV.1- INTRODUCTION	53
IV.2- LES GAZ A EFFET DE SERRE	54
IV.2.1- Définition des gaz à effet de serre	54
IV.2.2- L'effet de serre, un phénomène anthropique	54
IV.2.3- Le pouvoir de réchauffement des gaz à effet de serre	54
IV.2.4- Les gaz naturels	55
IV.2.4.1- La vapeur d'eau (H₂O)	55
IV.2.4.2- Le dioxyde de carbone ou gaz carbonique (CO₂)	55
IV.2.4.3- Le méthane (CH₄)	55
IV.2.4.4- Le protoxyde d'azote ou oxyde nitreux (N₂O)	55
IV.2.4.5- L'ozone (O₃)	56
IV.2.5- Les gaz industriels	56
IV.3- LE BILAN CARBONE	57
IV.3.1- Définition du bilan carbone	57
IV.3.2- Relation entre effet de serre et bilan carbone	57
IV.3.3- Principe de la méthode du bilan carbone	57
IV.3.4- Où trouve-t-on les gaz à effet de serre ?	58
IV.3.5- Qu'est ce qu'un puits de carbone	58
IV.3.6- L'Homme et les émissions de CO₂	58
IV.3.6.1- L'évolution des émissions de CO₂ par secteur	59
IV.3.6.2- Emissions de CO₂ par région	60
IV.3.7- Points forts du bilan carbone	61

IV.4- CONCLUSION	62
-------------------------------	-----------

Chapitre V : « METHODES DE CALCUL ET APPLICATIONS »

V.1- INTRODUCTION	63
V.2- PRINCIPES DE BASE POUR LES CALCULS	64
V.3- MESURE POUR LE CAS INDIVIDUEL	64
V.3.1- Problématique générale.....	64
V.3.2- Méthodologie.....	64
V.3.2.1- <i>Le transport</i>	64
V.3.2.2- <i>L'habitat</i>	64
V.3.2.3- <i>L'alimentation</i>	65
V.3.3- Résultats	65
V.3.3.1- <i>Personne écologique</i>	65
V.3.3.2- <i>Personne non écologique</i>	66
V.3.4- Analyse des résultats	67
V.4- MESURE POUR UNE INSTITUTION.....	67
V.4.1- Problématique générale.....	67
V.4.1.1- <i>L'Approche "interne"</i>	67
V.4.1.2- <i>L'Approche "émissions intermédiaires"</i>	68
V.4.1.3- <i>L'Approche "globale"</i>	68
V.4.2- Méthodologie	69
V.4.3- Résultats	69
V.4.4- Commentaire des résultats	70
V.5- MESURE POUR L'ALGERIE	70
V.5.1- Problématique générale.....	70
V.5.2- Méthodologie.....	70
V.5.2.1- <i>Evolution de la consommation énergétique</i>	70
V.5.2.2- <i>Evolution de la population en Algérie</i>	71
V.5.3- Résultats et analyse	71
V.5.3.1- <i>Evolution des émissions CO2 en Algérie</i>	71
V.5.3.2- <i>Empreinte écologique de l'Algérie en 2005</i>	72
V.5.3.3- <i>Déficit écologique de l'Algérie en 2005</i>	73
V.6- CONCLUSION	74

CONCLUSION GENERALE.....	76
---------------------------------	-----------

ANNEXE I: DEFINITIONS	78
ANNEXE II: PERTINENCES.....	82
ANNEXE III: TABLEAUX & FACTEURS DE CONVERSIONS	91
BILIOGRAPHIE GENERALE	99

Liste des tableaux :

Chapitre II

TABLEAU II-1: BILAN ENERGETIQUE MONDIAL EN 2005.	29
---	----

Chapitre III

TABLEAU III-1: CATEGORIES DE SOLS PRISES EN COMPTES PAR SECTEUR	42
--	----

Chapitre IV

TABLEAU IV-1: POUVOIR DE RECHAUFFEMENT GLOBAL DES DIFFERENTS GAZ A EFFET DE SERRE.	57
---	----

Chapitre V

TABLEAU V-1: EMPREINTE ECOLOGIQUE, BILAN CARBONE ET EMISSIONS DE CO₂ POUR UNE PERSONNE ECOLOGIQUE.	66
--	----

TABLEAU V-2: EMPREINTE ECOLOGIQUE, BILAN CARBONE ET EMISSIONS DE CO₂ POUR UNE PERSONNE NON-ECOLOGIQUE.	66
--	----

TABLEAU V-3: EMPREINTE ECOLOGIQUE, BILAN CARBONE ET EMISSIONS DE CO₂ PAR SECTEUR, POUR LE DEPARTEMENT GENIE CHIMIQUE DE L'ENP	70
---	----

TABLEAU V-4: EMPREINTE ECOLOGIQUE, BILAN CARBONE ET EMISSIONS DE CO₂ GLOBAUX POUR LE DEPARTEMENT GENIE CHIMIQUE DE L'ENP.	70
---	----

Liste des figures :

Chapitre II

FIGURE II-1: RESERVES ET RESSOURCES MONDIALES.	28
---	----

FIGURE II-2: RESERVES MONDIALES 2005.	29
--	----

FIGURE II-3: EVOLUTION DE LA CONSOMMATION D'ENERGIE PAR HABITANT 1850-1997	30
---	----

FIGURE II-4: HISTOGRAMME DE LA CONSOMMATION D'ELECTRICITE ET POPULATION (2002)	31
---	----

FIGURE II-5: EVOLUTION DE LA CONSOMMATION MONDIALE D'ENERGIE.	33
--	----

FIGURE II-6: CROISSANCE ENERGETIQUE DANS LE MONDE	33
--	----

FIGURE II-7: LE CHANGEMENT CLIMATIQUE ET SES INTERACTIONS AVEC D'AUTRES PROBLEMES GLOBAUX.	36
---	----

Chapitre III

FIGURE III-1: ILLUSTRATION DU PRINCIPE DE BASE DE L'EMPREINTE ECOLOGIQUE	42
---	----

FIGURE III-2: COMPOSITION DE L'EMPREINTE ECOLOGIQUE DE PAYS A REVENUS ELEVES	43
---	----

FIGURE III-3: COMPOSITION DE L'EMPREINTE ECOLOGIQUE DE PAYS A REVENUS MOYENS	43
---	----

FIGURE III-4: COMPOSITION DE L'EMPREINTE ECOLOGIQUE DE PAYS A FAIBLES REVENUS	43
--	----

FIGURE III-5: COMPOSITION MOYENNE DE L'EMPREINTE ECOLOGIQUE DANS LE MONDE.	44
---	----

FIGURE III-6: L'EMPREINTE ECOLOGIQUE PAR REGION EN 2001	45
--	----

FIGURE III-7: L'EVOLUTION DE L'EMPREINTE ECOLOGIQUE 1960-2003	45
--	----

FIGURE III-8: EVOLUTION DE L'EMPREINTE ECOLOGIQUE ET DE LA BIOCAPACITE	48
---	----

FIGURE III-9: EMPREINTE ECOLOGIQUE ET BIOCAPACITE DE QUELQUES PAYS	49
---	----

FIGURE III-10: HISTOGRAMME DE L'EMPREINTE ECOLOGIQUE PAR REVENU DES PAYS	49
---	----

FIGURE III-11: HISTOGRAMME DE L'EMPREINTE ECOLOGIQUE PAR CONTINENT.	50
--	----

FIGURE III-12: SCHEMA DU DEFICIT ECOLOGIQUE MONDIAL 2003	51
---	----

Chapitre IV

FIGURE IV-1: DUREE DE VIE DES GAZ DANS L'ATMOSPHERE.....	56
FIGURE IV-2: CONCENTRATION DE CO₂ 1850-2000.....	59
FIGURE IV-3: EMISSIONS DE CO₂ PAR SECTEUR EN 1971.....	59
FIGURE IV-4 : EMISSIONS DE CO₂ PAR SECTEUR EN 2004.....	59
FIGURE IV-5: TOP 10 DES PAYS EMETTEURS D'ENERGIE EN 2004.....	60

Chapitre V

FIGURE V-1 : EVOLUTION DE LA CONSOMMATION ENERGETIQUE PAR SECTEUR EN ALGERIE 1980-2005	71
FIGURE V-2 : EVOLUTION DE LA POPULATION EN ALGERIE 1980-2005	71
FIGURE V-3 : EVOLUTION DES EMISSIONS CO₂ TOTALES EN ALGERIE 1980-2005	73
FIGURE V-4 : HISTOGRAMME DE L'EMPREINTE ENERGETIQUE EN ALGERIE PAR SECTEUR 2003... 73	
FIGURE V-5 : HISTOGRAMME DE LA BIOCAPACITE, L'EMPREINTE ET DU DEFICIT ECOLOGIQUE DE L'ALGERIE EN 2005	73

Liste des abréviations :

Abréviations	
°C	Degré Celsius
CO ₂	Dioxyde de carbone
ENP	École Nationale Polytechnique
Eq.	Équivalent
GES	Gaz à Effet de Serre
Gha	Hectare global
GIEC	Groupe International d'Experts sur le Climat
Gtep	Giga tonne équivalent pétrole
Kg	Kilogramme
Ktep	Kilotonne équivalent pétrole
KWh	Kilo Watt heure
Mtep	Million de tonne équivalent pétrole
MWh	Mégawattheure
OCDE	Organisation de Coopération et de Développement Économiques
PCB	
Per	Personne
ppm	Partie par million
PVC	
TEP	Tonne équivalent Pétrole
Teq C	Tonne équivalent Carbone
Teq CO ₂	Tonne équivalent CO ₂
TWh	Téra Watt heure

Introduction

L'abondance énergétique apparente depuis un demi-siècle a entraîné une coupable insouciance quant aux conséquences dramatiques sur l'environnement. Pourtant, si la tendance persiste, tout porte à croire que la vraie crise de l'énergie est devant nous. Risques environnementaux et industriels majeurs, épuisement des réserves du sous-sol, exacerbation des tensions et des conflits internationaux, creusement des inégalités entre riches et pauvres : tel est l'avenir que prédisent les experts pour notre planète en l'absence d'une réaction énergique de la communauté internationale.

Il est nécessaire de faire prendre aux populations conscience du danger qui guette cette planète et par voie de conséquence les générations futures, et c'est là qu'interviennent, pour mesurer les dégâts environnementaux, "L'empreinte écologique" et "le bilan carbone".

Il existe une dualité entre ces deux approches, bien qu'elles aient le même objectif, soit, celui de prouver la nécessité d'une réduction de la pression globale sur notre environnement :

Le bilan carbone [exprimé en tonne équivalent CO₂ (teqCO₂) ou tonne équivalent Carbone (teqC)] a pour vocation la comptabilisation des émissions des gaz à effet de serre à partir de facteurs de conversion, indépendamment de la localisation des émissions.

L'empreinte écologique [exprimée en hectare global (gha)] quant à elle, comptabilise les activités de tout un chacun, et les convertit en équivalent de surface de la Terre, nécessaire pour couvrir ces activités.

Ainsi donc, ce rapport a pour but, à travers cinq parties, de mettre en évidence et en chiffres, l'impact du développement humain sur l'environnement :

Dans une première partie nous passerons en revue les différentes formes d'énergie utilisées en excès, celles que l'on devrait utiliser d'avantage par simple respect à la planète,

Dans une deuxième partie seront examinées les énergies utilisées en excès, à savoir les énergies non renouvelables. Ces énergies dont la consommation s'accroît très rapidement, dont la répartition est inégale, et dont les impacts sur l'environnement sont devenus une réalité avérée.

Dans la troisième partie nous aborderons, *l'empreinte écologique*, notion nouvelle qui consiste en une estimation de la surface nécessaire pour produire les ressources dont chacun de nous a besoin et celle nécessaire absorber les déchets que nous produisons. *L'empreinte écologique* est à comparer à *la bio capacité de la Terre* - la capacité de la nature à nous fournir des ressources et à digérer nos rejets- exprimée aussi en gha. Un déficit écologique apparaît lorsque l'empreinte écologique d'une région définie est supérieure à la biocapacité correspondante.

Le bilan carbone, comme autre indicateur, est présenté dans une quatrième partie. Ce bilan comptable permet d'estimer l'accroissement constant des gaz à effet de serre dans l'atmosphère.

Dans la dernière partie seront développées les méthodes de calcul pour les deux notions déroulées tout au long de cette présentation, avec des applications pour différentes entités.

Chapitre I :

Les énergies d'hier et de demain



Les énergies ont toujours été les meilleures alliées de l'homme rendant sa vie plus facile et/ou plus agréable.

Dans ce chapitre, nous nous proposons d'aborder dans un premier temps l'énergie de façon générale, puis les énergies non renouvelables (les énergies d'hier) et enfin les énergies renouvelables (les énergies de demain) avec une mise en relief des avantages et inconvénients de chaque forme d'énergie.

I.2 Définition de l'énergie

L'énergie peut prendre de multiples formes (chimique, électrique, nucléaire, etc.), toutes transformables les unes en les autres selon certaines lois et avec des rendements plus ou moins élevés; certaines sont stockables.

L'énergie ne peut être que transformée; elle ne peut être créée, ni disparaître; en revanche, elle peut se dégrader au cours de ses transformations successives. Lavoisier disait déjà concernant la nature « *rien ne se crée, rien ne se perd, tout se transforme* ».

A l'aube du 21ème siècle, l'énergie reste un enjeu majeur tant au niveau politique, économique, scientifique qu'environnemental.

I.3 Les énergies non renouvelables : [1] ; [12] ; [13] ; [15]

Les énergies non renouvelables sont les énergies finies. Elles s'épuisent inexorablement et ne sont pas renouvelées puisqu'elles sont constituées de substances qui mettent des millions d'années à se reconstituer.

Il existe deux grandes sortes d'énergies non renouvelables : les énergies fossiles et l'énergie nucléaire :

I.3.1 Les énergies fossiles :

Les sources d'énergies fossiles sont issues de la fossilisation de matière organique dans le sous-sol terrestre. Le mot "fossile" est plus souvent rattaché à des animaux ou des plantes qui ont laissé leur empreinte dans la roche ou sont eux-mêmes devenus pierre.

La fossilisation est un processus lent qui a progressivement minéralisé ces squelettes, ces coquillages ou ces fougères qui vivaient au temps des dinosaures (et même avant). Mais ces processus géologiques lents se sont aussi appliqués aux fonds marins où des forêts entières avaient été englouties. Ils ont mené à la formation de ce que nous connaissons aujourd'hui sous les noms de charbon, gaz naturel et pétrole.

Leur utilisation, en tant que combustible, s'est véritablement développée au cours du 19ème siècle avec les débuts de la révolution industrielle, une époque où les besoins en énergie ont fortement augmenté.

I.3.1.1 Le charbon :

Energie emblématique de la révolution industrielle, le charbon est une matière vivante complexe provenant de l'accumulation massive de biomasse terrestre (principalement des

arbres). Cette matière, déposée dans des bassins sédimentaires terrestres il y a environ 360 millions d'années s'est transformée sous l'effet de la pression et de la température successivement en cellulose de bois, en acides humides, en bitumes et enfin en carbone élémentaire.

Aujourd'hui, les centrales électriques thermiques utilisant du charbon brut ou des résidus de lavage génèrent 40% de la production d'électricité mondiale. Pour la sidérurgie, le charbon est également un élément essentiel car, transformé en coke, il est indispensable à la production de 66% de l'acier mondial. Divers dérivés du charbon sont également utilisés dans les industries des colorants et de la pharmacie, dans la droguerie, la parfumerie, les engrais ou les explosifs, ainsi que dans la fabrication de plastiques et de textiles.

Dans l'état actuel des connaissances, le charbon occupe de très loin la première place parmi les réserves mondiales puisqu'il représenterait environ 80% de combustibles fossiles.

Face à la forte progression de consommation observée ces dernières années, son intérêt dans l'avenir apparaît indissociable de l'évolution du pétrole et du gaz naturel, pénalisés par l'épuisement progressif de leurs réserves et par le risque géopolitique engendré par leur répartition inégale.

Les principaux avantages que présente le charbon sont les suivants:

- Seule forme d'énergie fossile sous forme solide
- Stockable
- Disponible dans de nombreux pays.
- Les gisements connus sont très importants.
- Permet de produire du gaz de houille et un grand nombre de produits chimiques carbonés ou hydrogénés.

Les principaux inconvénients que présente le charbon sont les suivants:

- Energie non renouvelable volumineuse et coûteuse à extraire et à transporter.
- Ses impuretés sont une importante source de pollution lors de sa combustion (souffre notamment). Des systèmes de filtrage des gaz produits sont nécessaires.
- Comme pour tout carburant fossile, sa combustion libère du dioxyde de carbone dans l'atmosphère, phénomène à l'origine de l'accroissement de l'effet de serre atmosphérique.

I.3.1.2 Le pétrole :

Le pétrole est le résultat de dépôts organiques formés au fond des mers sous l'action de température et pression intenses. Le développement de l'exploitation des différents gisements pétroliers et de la pétrochimie a progressivement permis l'avènement de l'ère de l'automobile et de l'aviation, mais aussi l'ère des matières plastiques.

Les principaux avantages que présente le pétrole sont les suivants:

- Énergie disponible un peu sur tous les continents.
- Transport facile et peu onéreux par bateau (pétroliers) et surtout par oléoducs (grosses canalisations).
- Sa chimie est d'une richesse extrême. À partir du pétrole, on tire des gaz (méthane, propane, butane, etc.), des carburants (essence, kérosène, gazole, fuel), des composés aromatiques, des lubrifiants, du goudron, etc.
- C'est la forme d'énergie liquide la plus concentrée disponible actuellement.

Les principaux inconvénients que présente le pétrole sont les suivants:

- La recherche d'un nouveau gisement pétrolier est une activité de plus en plus difficile, nécessitant des moyens techniques et financiers toujours plus importants.
- Le transport du pétrole est à l'origine de nombreuses pollutions, en particulier des "marées noires" mais aussi d'incendies.
- Comme pour le charbon, sa combustion produit du dioxyde de carbone qui, libéré dans l'atmosphère, participe à l'accroissement de l'effet de serre.

I.3.1.3 Le gaz naturel :

Le gaz naturel est constitué d'alcanes gazeux : on y trouve essentiellement le méthane (jusqu'à 95%), l'éthane, le propane et le butane. Le gaz naturel peut être livré sous forme gazeux par gazoducs et liquide par les navires méthaniers. L'importance relative du gaz ou du liquide dépend du gisement. Beaucoup moins polluant que le charbon et le pétrole, le gaz naturel est la première des énergies utilisées pour le chauffage (résidences hôpitaux, écoles, ...). Dans l'industrie, il sert de matière première ou de combustible.

Au début du 21^{ème} siècle, le gaz naturel représentait entre 20% et 25% de la consommation mondiale d'énergie. Le gaz naturel a connu un développement tardif et lent. Alors que l'industrie du pétrole se développe internationalement dès la fin du 19^{ème} siècle, il faut

attendre la fin des années 1950 pour que l'on commence à s'intéresser au gaz naturel qui apparut comme une énergie délicate à exploiter.

Par la nécessité d'utiliser des sources d'énergie plus respectueuses de l'environnement, la diversification énergétique en faveur du gaz naturel, en cours depuis déjà plus d'une décennie, va se poursuivre.

Les principaux avantages que présente le gaz naturel sont les suivants:

- Energie disponible sur tous les continents.
- L'extraction nécessite peu d'énergie en raison de la forme gazeuse du gaz naturel.
- Le gaz naturel nécessite peu de filtrage : il est quasiment utilisable sous sa forme native. Seul le soufre, présent parfois, est réellement indésirable car polluant.
- Combustible fossile le moins polluant et le moins émetteur de dioxyde de carbone.
- Le transport de gaz est facilement réalisé par des *gazoducs*. Les *méthaniers* servent aux transports intercontinentaux. En cas de rupture de canalisation, le gaz naturel se détend puis, plus léger que l'air, se disperse dans l'atmosphère. Ainsi les risques d'explosion liés à une forte concentration de gaz (poche de gaz) sont le plus souvent évités.

Les principaux inconvénients que présente le gaz naturel sont les suivants:

- Peut devenir explosif lorsque certaines conditions de concentration et de température sont remplies. Cependant, il n'y a généralement pas de risque. Le gaz naturel est incolore et inodore. Il est donc indétectable par les sens humains. C'est la raison pour laquelle il faut impérativement l'odoriser. Le *mercaptan* ou le *tetrahydrothiophène* (THT) sont les substances généralement employées à cet effet.
- Est, par nature, peu dense. C'est pourquoi pour une même quantité énergétique, le gaz est beaucoup plus volumineux que le pétrole ou le charbon. Il doit donc être maintenu comprimé durant tout son transport. Cette compression nécessite bien entendu des compresseurs qui consomment de l'énergie...

I.3.2 L'énergie nucléaire :

Comparé aux énergies fossiles, le nucléaire est une source d'énergie relativement récente basée sur la réaction de fission qui consiste à casser des noyaux lourds, comme ceux de l'uranium 235 ou du plutonium 239, sous l'effet de l'impact d'un neutron. L'énergie libérée est considérable puisqu'un seul gramme d'uranium fournit autant d'énergie que 3 tonnes de charbon !

Le développement de l'énergie nucléaire dans le monde a commencé après le premier choc pétrolier de 1973 et a connu une croissance particulièrement élevée eu égard à la conjonction de trois facteurs :

- La forte augmentation des besoins énergétiques.
- Le prix de pétrole de plus en plus cher, avec des réserves estimées à moins de soixante années de consommation.
- la volonté politique des pays développés d'obtenir leur indépendance énergétique.

Les principaux avantages que présente le nucléaire sont les suivants:

- L'uranium qui alimente les centrales nucléaires provient de zones géographiques diversifiées (Canada, Afrique, Australie, Asie), politiquement plus stables que certains pays exportateurs de pétrole tel que le Moyen-Orient. Ceci évite les tensions que l'on peut avoir sur le pétrole, le gaz et dans une moindre mesure le charbon.
- Assure, pour les pays qui disposent de cette technologie, plus d'indépendance sur le plan d'approvisionnement en matière d'énergie. En France, la mise en place du programme électronucléaire a permis de remplacer le fioul par l'énergie nucléaire pour la production d'électricité. Ainsi, 78% de l'électricité est d'origine nucléaire. C'est l'une des plus compétitives d'Europe.
- Son utilisation ne contribue que très peu à la production de GES.
- Les centrales nucléaires ne contribuent pas aux pollutions acides puisqu'elles n'émettent ni de dioxyde de soufre ni d'oxyde d'azote.
- Coût économique de la filière de production de l'électricité nucléaire.

Les principaux inconvénients que présente le nucléaire sont les suivants:

- Le grand problème rencontré lors du développement de l'énergie nucléaire est la gestion de déchets radioactifs qui ne peuvent plus ni être recyclés ni réutilisés.
- L'impact sanitaire et environnemental de l'énergie nucléaire s'avère très dangereux. En effet, le transfert et l'accumulation des entités radioactives dans la biosphère mettent en réel danger la vie des différents organismes et la biodiversité des sites.
- L'énergie nucléaire crée de grandes quantités de plutonium très dangereux pour les êtres vivants : 1 microgramme de plutonium inhalé peut suffire à provoquer un cancer du poumon (Il faut plus de 10 cigarettes par jour pendant toute une vie pour provoquer le même effet).

- Le risque d'accident grave ne peut être exclu sur un site nucléaire. Sa probabilité est présentée comme très faible -même si les exploitants admettent que *le risque zéro n'existe pas-*, mais elle augmente avec le vieillissement des installations. Les conséquences potentielles se chiffrent en revanche en *milliers de morts* du fait de la contamination à long terme de l'environnement (cancers par exemple). Les accidents nucléaires les plus graves qui se soient déjà produits sont Windscale (1957), Three Mile Island (1979), Tchernobyl (1986) et Tokaimura (1999).

I.4 Les énergies renouvelables : [1] ; [12]

Les énergies renouvelables peuvent être considérées comme étant des sources d'énergie dont le gisement ne risque pas de s'épuiser et se reconstitue en permanence à un rythme au moins égal à celui de la consommation. Elles proviennent de l'exploitation de flux naturels d'énergie (rayonnement solaire, cycle de l'eau, des vents, chaleur interne de la terre, etc.). La nature peut donc les reconstituer assez rapidement, contrairement aux énergies fossiles et au nucléaire, dont les réserves sont limitées. L'énergie solaire, éolienne, hydraulique, géothermique et de biomasse en sont les formes les plus courantes.

En fonction de la technologie employée, les énergies renouvelables peuvent produire de la chaleur (solaire thermique, bois-énergie, biogaz, géothermie), de l'électricité (solaire photovoltaïque, éolien, hydroélectricité, biogaz, etc.). La place que pourrait prendre ces énergies dans le prochain siècle est un sujet des plus controversés, car ces énergies sont respectueuses de l'environnement, mais les technologies restent très coûteuses!

Les avantages des énergies renouvelables sont les suivants:

- L'énergie renouvelable n'est pas limitée par l'épuisement de son gisement.
- La production de gaz à effet de serre est le plus souvent faible pendant la production d'énergie (excepté dans le cas de la biomasse)
- Les déchets produits par un système de production d'énergie renouvelable sont essentiellement des déchets de démantèlement des installations de production en fin de vie, au contraire des centrales thermiques à hydrocarbures ou nucléaires.
- Les impacts en cas d'accident grave sont plus facilement maîtrisables comparés à ceux de l'industrie électronucléaire ou pétrolière.
- Les déchets sont peu dangereux.

- Les énergies renouvelables améliorent l'indépendance énergétique, et donc diminuent les conflits pour acquérir de l'énergie.

I.4.1 L'énergie solaire :

Le soleil est la plus abondante source d'énergie disponible dans le monde. L'énergie solaire parvenant à la surface du globe équivaut théoriquement à 10 000 fois la quantité moyenne d'énergie consommée annuellement par l'humanité. Cette énergie est par définition accessible en tous lieux, même si les ressources solaires sont moins abondantes dans certaines régions du globe (le rendement varie de 1 à 3 selon les régions). Elle peut être exploitée selon trois modalités principales : le solaire thermique (eau chaude et chauffage des bâtiments), les centrales thermodynamiques (fluide actionnant une turbine électrique) et les centrales photovoltaïques (transformation directe des rayons du soleil en énergie électrique).

En 2000, la production mondiale d'énergie solaire avoisine 1,2 TWh. Le photovoltaïque est particulièrement adapté aux besoins de faible puissance (moins de 1 kW, ce qui lui ouvre de larges perspectives de développement en matière de production d'énergie décentralisée). C'est donc dans les zones rurales isolées que le solaire trouve son potentiel de développement le plus élevé.

1.4.2 L'énergie hydraulique :

Depuis plus de 2000 ans on sait utiliser la force créée par les courants des rivières ou des chutes d'eau pour faire tourner la roue d'un moulin à eau. Aujourd'hui on utilise cette force pour faire tourner des turbines qui produisent de l'électricité.

Cette énergie provient essentiellement du passage de l'eau à travers les barrages. Elle est issue du cycle de l'eau : le soleil provoque l'évaporation de l'eau qui se condense pour former les nuages. La pluie libérée par ceux-ci contribue à la création des cours d'eau qui à leur tour alimentent les barrages. La puissance des centrales hydroélectriques dépend de la vitesse de l'eau et de son débit.

L'énergie hydraulique est l'énergie renouvelable commerciale la plus exploitée dans le monde. Elle fournit près de 20% de la production d'électricité mondiale. Techniquement maîtrisée, cette filière est inégalement exploitée dans le monde. Le taux d'équipement atteint en effet plus de 80% en Europe, 50% en Amérique du Nord, mais moins de 30% en Afrique, Asie et Amérique Latine. Plus de 150 pays produisent de l'électricité à partir de l'hydraulique. Au Canada, par exemple, plus de 60% de l'électricité produite provient de l'hydraulique, ce qui permet à ce pays de contribuer avec 13% au potentiel mondial.

I.4.3 L'énergie éolienne :

Les éoliennes convertissent la force et la vitesse du vent en énergie mécanique pour le pompage de l'eau ou en électricité grâce à des ensembles hélices (turbines/ réducteurs/ alternateurs) performants.

La capacité mondiale d'énergie éolienne atteint 16 622 MW en 2001, en croissance rapide depuis 1998 (+ 3695 MW en 1999, + 3031 MW en 2000). Grâce à des investissements importants et à l'impulsion des pouvoirs publics en faveur de cette filière, la capacité mondiale de cette énergie a augmenté de 21% par an au cours des dix dernières années. Malgré cet essor spectaculaire, la filière ne fournit encore que 0,11 % de l'électricité mondiale.

I.4.4 La biomasse :

La biomasse comprend les sous-produits de l'agriculture, de la sylviculture, et par extension toute forme d'énergie issue de la fermentation ou l'incinération de végétaux et de déchets. Deuxième énergie renouvelable après l'hydroélectricité, elle ne représente qu'un peu plus de 1% de la production mondiale d'électricité (155 TWh en 1998).

En dépit d'une relative stabilité de ses niveaux de production sur la dernière décennie, la biomasse reste considérée comme une source crédible d'énergie commercialisable. Des évolutions technologiques récentes ont en effet permis d'améliorer le rendement du bois énergie par l'amélioration de la valeur énergétique des combustibles et la production de biocarburants et de bios combustibles (biogaz, obtenu par méthanisation des déchets).

I.4.5 L'énergie géothermique :

La géothermie consiste en la valorisation de l'énergie calorifique stockée sous la surface terrestre. La température de la terre augmente en effet de 30°C en moyenne tous les 100 mètres de profondeur.

La géothermie est la troisième source d'énergie renouvelable derrière la biomasse et l'hydraulique. Son exploitation aux fins de production énergétique est toutefois ancienne : les Chinois et les Romains ont en effet toujours utilisé les eaux chaudes naturelles pour leurs bains et l'alimentation de certains réseaux de chauffage.

Les évolutions technologiques récentes ont permis d'envisager de nouveaux modes d'exploitation (forages et pompes de production, sondes géothermiques), et donc un changement d'échelle de la fourniture d'énergie par cette filière. C'est ainsi que cette énergie alimente des

quartiers ou des villes en eau chaude et chauffage, mais elle sert aussi à faire fonctionner des centrales électriques.

I.5 Les énergies du futur : [1] ; [12] ; [14]

II.5.1 La pile à combustible :

Une pile à combustible est une pile où la fabrication de l'électricité se fait grâce à l'oxydation sur une électrode d'un combustible réducteur (par exemple l'hydrogène) couplée à la réduction sur l'autre électrode d'un oxydant, tel que l'oxygène de l'air. La réaction d'oxydation de l'hydrogène est accélérée par un catalyseur qui est généralement du platine. Si d'autres combinaisons sont possibles, la pile la plus couramment étudiée et utilisée est la pile dihydrogène oxygène.

Le fonctionnement d'une telle pile est particulièrement propre puisqu'il ne produit que de l'eau et consomme uniquement des gaz. Mais la fabrication de ces piles est très coûteuse, notamment à cause de la quantité non négligeable de platine nécessaire.

Une des difficultés majeures réside dans la synthèse et l'approvisionnement en dihydrogène. Sur Terre, l'hydrogène n'existe en grande quantité que combiné à l'oxygène (H_2O), au soufre (H_2S) et au carbone (combustibles fossiles de types gaz ou pétroles). La production de dihydrogène nécessite donc soit de consommer des combustibles fossiles, soit de disposer d'énormes quantités d'énergie à faible coût, pour l'obtenir à partir de la décomposition de l'eau, par voie thermique ou électrochimique.

I.5.2 Les biocarburants :

Les biocarburants sont des carburants d'origine végétale issus de la biomasse (d'où le surnom de « carburants verts »). On les produit à partir de déchets végétaux ou de plantes cultivées dans ce but. Ils possèdent des propriétés similaires au pétrole et peuvent parfois s'employer dans des moteurs diesel ou des moteurs à essence. Les biocarburants ne doivent pas être confondus avec les biocombustibles. Les premiers servent à alimenter un moteur, tandis que les seconds servent à produire de la chaleur.

Issus de programmes lancés à la fin des années 70 pour desserrer la contrainte pétrolière, les biocarburants ont actuellement plus de 20 ans de développement industriel.

Encore handicapés aujourd'hui par un coût trop élevé, ils semblent de nouveau avoir un avenir prometteur car ils pourraient permettre, dans le secteur des transports, une réduction de la consommation de pétrole et une diminution des rejets de gaz à effet de serre.

Quatre grandes catégories de biocarburants existent : l'alcool, les esters, les huiles végétales et les biogaz.

- L'alcool, dit " bioéthanol ", est produit par la fermentation des sucres contenus dans les plantes riches en sucre (betteraves, topinambours, canne à sucre...) ou en amidon (pomme de terre, céréales) ou encore dans les plantes ligneuses (bois, paille...).
- Les esters sont issus du mélange avec un alcool d'huile de graines oléagineuses (obtenue par pressage du colza et du tournesol) et sont principalement développés sous la forme d'EMHV (esters méthyliques d'huiles végétales) destinés aux véhicules diesel. La réaction obtenue produit un ester et de la glycérine. Cet ester est nommé " diester " par contraction des mots diesel et esther. Les esters permettent d'avoir des quantités supplémentaires de carburants ajoutés au gazole routier ou comme combustible pour le fioul de chauffage. L'impact de cette filière sur l'effet de serre est particulièrement intéressant. Elle permet d'économiser 2,2 tonnes d'équivalent CO₂/ tonne d'ester.
- Les huiles végétales sont obtenues par simple pression à froid et filtration de graines oléagineuses (colza, tournesol, coprah, palme, soja, arachide). Une tonne de graines de Colza fournit 0,3 tonne d'huile.
- Le biogaz qui est produit par fermentation méthanogène, grâce à une digestion de la biomasse. Cette digestion transforme les matières organiques complexes en dioxyde de carbone et en méthane. Les molécules de gaz sont facilement récupérées sous forme de biogaz, composé de 60 à 70 % de méthane. Ce processus chimique présente un très bon rendement énergétique. Ce biocarburant fait appel à des technologies simples, largement utilisées pour le traitement des eaux usées et des déchets organiques ménagers.

I.6 Les autres énergies potentielles :

La foudre, électricité sauvage. Un éclair déborde d'énergie furieuse. Malheureusement, et malgré plusieurs tentatives, on ne sait pas la récupérer. Elle est trop intense et trop brutale, et en plus on ne sait prévoir ni où ni quand elle va tomber. Tout au plus on parvient, grâce aux paratonnerres, à la dévier des maisons ou des bâtiments où elle pourrait faire des ravages.

Les marées, courants marins et vagues de l'océan possèdent une formidable énergie, mais on ne sait pas comment la capter de manière rentable. Des recherches se poursuivent. Il existe une seule usine produisant de l'électricité à une échelle industrielle grâce à l'énergie des marées, et elle se trouve en France.

La différence de température entre la surface et le fond des océans permet aussi théoriquement de produire de l'électricité. Mais cette énergie thermique des océans paraît bien trop difficile et coûteuse à récupérer.

La fusion nucléaire, source d'énergie inépuisable existe peut-être. C'est la fusion nucléaire, l'énergie des étoiles, la transformation de deux atomes d'hydrogène en un atome d'hélium. Et avec une énorme libération d'énergie quand ce sont des milliards et des milliards d'atomes qui fusionnent ! L'hydrogène est présent en grandes quantités sur terre, c'est l'un des composants de l'eau ; cette source d'énergie serait ainsi abondante, et pour très longtemps. Pour l'instant, on en est au stade de la recherche, et on ne sait pas si on y parviendra un jour.

La prise de conscience des limites des ressources fossiles, jointe à l'inflation incontrôlable des prix du pétrole, justifie la nécessité de cette approche : que la promotion des énergies renouvelables sont plus que jamais nécessaires, mais elles ne peuvent être mises en œuvre qu'en confrontant la vision qu'on a de leur avenir.

L'ère des énergies non renouvelables doit être révolue au profit de nouvelles formes d'énergies, plus respectueuses de la nature.

Chapitre II :

Le monde actuel et les tendances futures



Le futur énergétique reste fondamentalement incertain et largement controversé. Au-delà des questions traditionnelles concernant l'éventualité d'un manque global d'énergie, les interrogations sont autant nombreuses que diversifiées.

Nous proposons dans ce chapitre de nous intéresser au bilan énergétique mondial actuel, aux prévisions de consommation d'ici 2030 tout en mettant l'accent sur le poids des économies émergentes (notamment asiatiques) dans notre modèle actuel de croissance de la demande énergétique. Modèle fondé sur le gaspillage effréné des ressources naturelles qui conduisant à la dégradation de notre environnement

II.2 Les réserves mondiales d'énergie :

Les termes « réserve » et « ressource » sont deux concepts, souvent utilisés, mais qui recouvrent des réalités très différentes. (Figure 1)

Les quantités totales de pétrole, de gaz naturel, de charbon et d'uranium que contient la croûte terrestre constituent les ressources de ces différentes énergies. De par leur nature fossile, elles ne font que décliner depuis le début de leur exploitation par les êtres humains.

Les réserves, quant à elles, constituent des gisements connus avec certitude et accessibles à des coûts économiques donnés. L'évaluation des réserves d'hydrocarbures est un exercice délicat : les gisements sont situés dans des couches géologiques dont on n'a qu'une connaissance partielle, notamment à partir de forages qui ne donnent qu'une information ponctuelle. Ceci étant, les réserves, contrairement aux ressources, peuvent être revues à la hausse, notamment grâce aux progrès techniques qui permettent d'améliorer la connaissance du gisement et d'optimiser son exploitation.¹ [6]

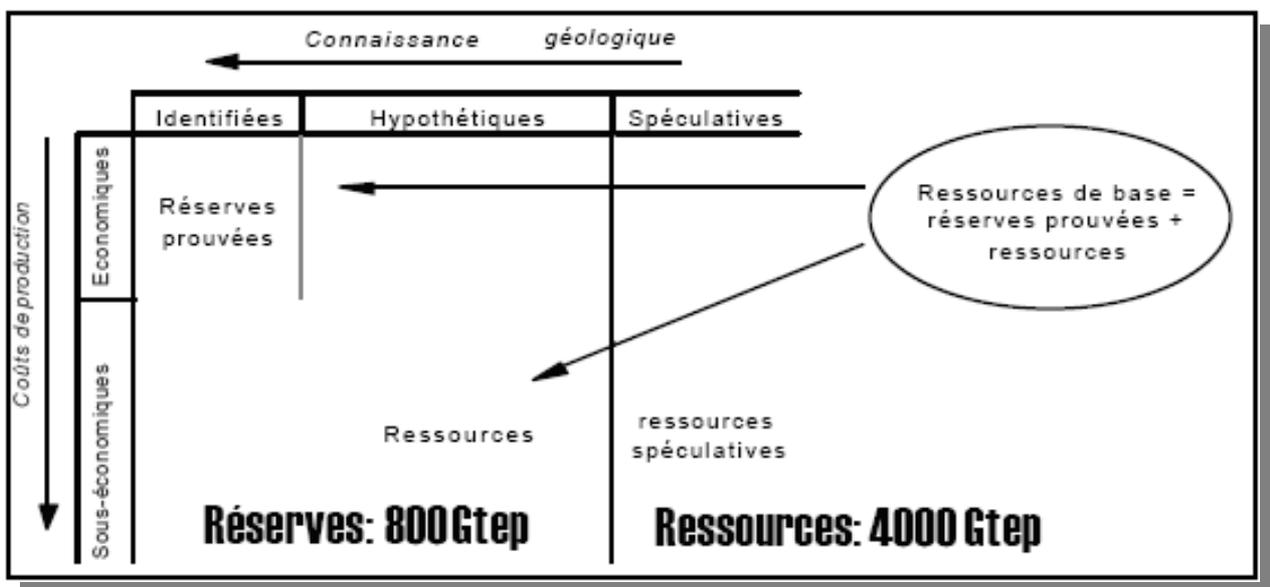


Figure II-1 : Réserves et ressources mondiales.

Source : Institut de Conseil et d'Etudes en Développement Durable asbl [6]

Les ressources énergétiques mondiales sont de l'ordre de 4.000 Gtep, mais à ce jour, seulement 800 Gtep environ sont des réserves prouvées. Ces réserves sont inégalement réparties entre pétrole et gaz naturel. (Figure 2)

¹ : Voir annexe 1, les réserves de chaque forme d'énergie.

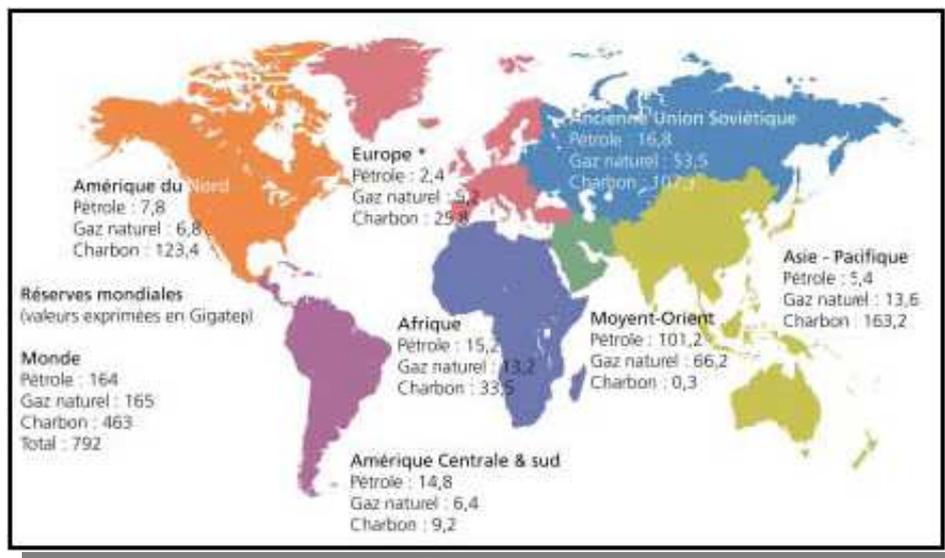


Figure II-2 : Réserves mondiales 2005.

Source : BP Statistical Review of World Energy, juin 2006. [6]

II.3 Bilan énergétique mondial :

Au niveau mondial, la consommation d'énergie par habitant ne fait qu'augmenter depuis 1850. La croissance de cette pression a principalement eu lieu dans les pays occidentaux, générant des écarts de consommation très importants avec les pays en développement. Cette croissance de la consommation mondiale d'énergie est essentiellement basée sur le charbon et le pétrole.

Quelques chiffres sont nécessaires pour en juger : l'énergie consommée dans le monde a dépassé le seuil de 10 000 millions de tep en 2002, et se répartit de la façon suivante (Tableau I) :

Forme d'énergie	Consommation (Mtep)	%
Pétrole	3 978	34,8
Charbon	2 903	25,4
Gaz	2 355	20,6
Biomasse	1165,86	10,2
Hydroélectricité & nucléaire	1028,7	9
Consommation totale	11 430	100

Tableau II-1 : Bilan énergétique mondial en 2005.

Source : Enerdata [17]

« Le monde reste dangereusement lié au pétrole et aux autres combustibles fossiles », a déclaré le Secrétaire général de l'Organisation des Nations Unies.

En effet, on remarque dans le *tableau 1* que le pétrole et le charbon couvrent plus de la moitié de la consommation énergétique. Les trois sources d'énergies fossiles couvrent environ 81% de la consommation de l'énergie. En 2006, le monde consommait l'équivalent de 230 millions de barils de pétrole par jour.

Les énergies renouvelables, peu émettrices de CO₂, ne se sont pas encore fait une place puisqu'elles ne représentent que 8 % de la consommation mondiale d'énergie !

II.4 Répartition inégale dans le monde :

La consommation énergétique actuelle connaît une abondance apparente mais de profonds déséquilibres. L'écart se creuse entre pays riches et pays pauvres : En Afrique, la consommation énergétique par habitant représente toujours moins de 10 % de la consommation moyenne par habitant en Amérique du Nord.

Les besoins minimum d'énergie d'un homme sont de 0,5 à 1 tep pour les besoins de santé publique et environ 1,5 à 2 tep/an pour entrer dans le développement. Or, aujourd'hui, 2 milliards d'Africains et d'Asiatiques n'ont pas encore accès à l'énergie commerciale, et dépendent toujours des ressources traditionnelles de la biomasse. Certains Africains consomment moins que l'homme préhistorique qui avait au moins à sa disposition de luxuriantes forêts. [17]

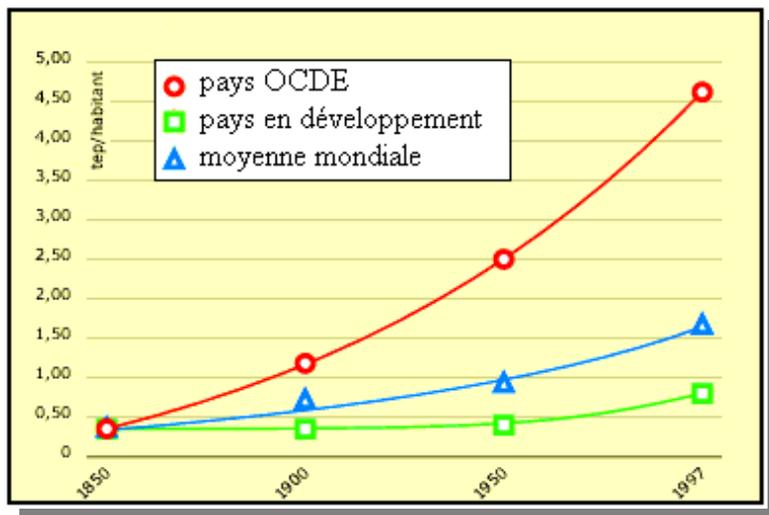


Figure II-3: Evolution de la consommation d'énergie par habitant 1850-1997
Source: World Energy Assessment: energy and the challenge of sustainability. [20]

La distribution des ressources énergétiques est encore moins équitable si l'on considère uniquement l'énergie électrique : la *figure 4* illustre bien cette répartition dans différentes régions :

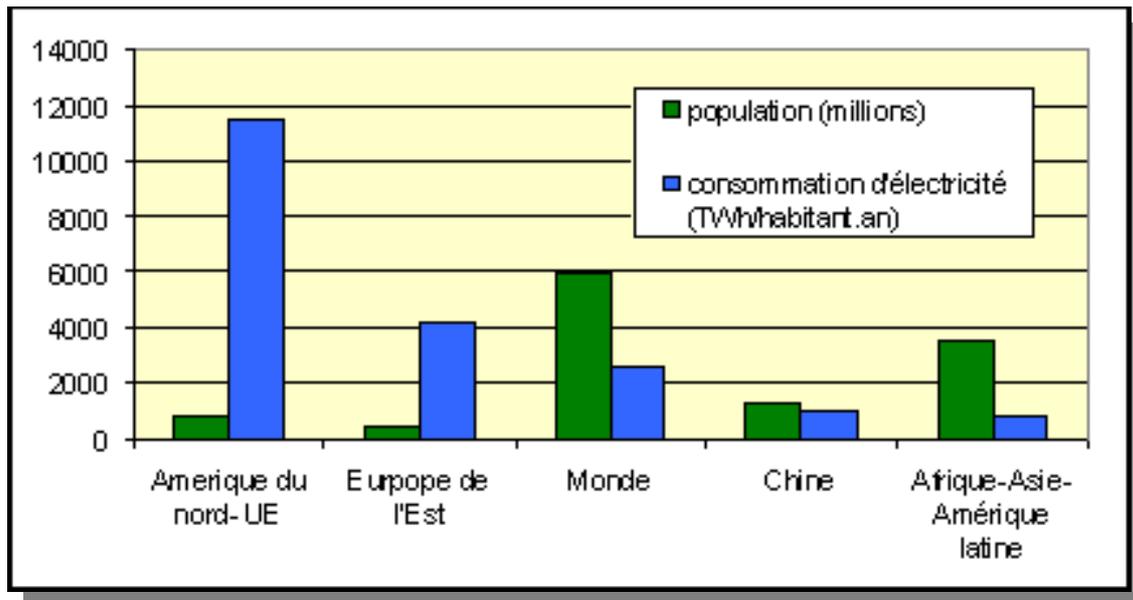


Figure II-4: Histogramme de la consommation d'électricité et population (2002)
Source : World Energy Council [17]

II.4.1 Les pays industrialisés : USA

Il est impossible de parler aujourd'hui de politiques énergétiques des états, sans que cela nous conduise à parler des États-Unis qui, avec 4,6% de la population mondiale, consomment plus de 25% de la consommation d'énergie mondiale.

Les Etats Unis possèdent des potentialités énergétiques importantes. En effet, le sol américain renferme près du quart du charbon mondial et près du tiers d'uranium économiquement rentable. Cependant bien que ce pays possède 5% des réserves mondiale en gaz naturel et 3% des réserves du pétrole, il reste le premier consommateur et importateur mondial et il doit importer chaque jour plus de 16% de ses besoins en pétrole et 52% en gaz. Cette dépendance va s'accroître dans les prochaines années, où l'on prévoit une augmentation de 33% de la consommation en pétrole, passant ainsi de 10,4 millions de barils par jour à environ 16,7 millions. La demande énergétique de ce pays peut influencer sensiblement sur le prix mondial du pétrole.

Quant à l'énergie renouvelable, qui représentait en 1970 un taux de 4,1% ,est passée à un taux de 5% en 1980, puis 6,6 % en 1996. [1]

II.4.2 Les pays émergents : La chine

La Chine a connu un développement économique spectaculaire pendant les 20 dernières années, avec un taux de croissance de 8 à 9% par an. Son développement économique a stimulé à

la fois l'offre et la demande énergétique puisque désormais, la Chine est le deuxième pays producteur et consommateur de l'énergie primaire, juste derrière les Etats-Unis.

La sécurité énergétique est maintenant d'autant plus importante que les ressources nationales en hydrocarbures sont limitées et que la demande est toujours en augmentation. La Chine dépend de plus en plus du pétrole importé. Afin de limiter l'influence négative de l'incertitude du marché énergétique mondial, le gouvernement chinois a décidé d'abord de mettre en place une stratégie de stockage du pétrole, de diversifier ses sources d'importation, et enfin de développer les énergies de substitution au pétrole.

II.4.3 Les pays pauvres: L'Afrique

On ne peut pas prendre l'exemple d'un pays pauvre, puisque tout le continent consomme un cinquième de ce que consomme un seul pays, à savoir les Etats-Unis.

Même si ce continent dispose d'importantes ressources, que ce soit en terme d'énergie renouvelable ou d'énergie fossile, celles-ci sont très nettement sous-exploitées. La consommation énergétique est de ce fait très faible en Afrique, ne représentant que 5,5 % de la consommation mondiale pour une démographie équivalente à 13 % de la population de la planète. Elle s'oriente essentiellement vers la biomasse, composée notamment du bois de chauffe et de ses dérivés.

Le problème pour eux n'est donc pas de maîtriser la consommation, comme dans les pays riches, mais d'assurer à tous un accès minimum à l'énergie.

II.5 Evolution globale de la consommation :

Le modèle énergétique aujourd'hui dominant est fondé sur un dogme déjà ancien et pourtant réputé intangible : les besoins augmenteront toujours, il faut donc produire toujours plus pour consommer toujours plus ! Ainsi, en 1950, 2,5 milliards d'individus consommaient 1,6 milliard de tep, et en 1995, 5,7 milliards consommaient 9 Gtep.

La consommation d'énergie primaire dans le monde augmente régulièrement, elle est passée de 0,72 tep/habitant en 1900 à 1,7 tep/habitant en 2000.

Ne perdons pas de vue que l'on compte 6,5 milliards d'habitants en 2007 et que nous serons environs 9 milliards en 2050. Ceci se répercute directement sur la consommation énergétique mondiale ; si l'habitant moyen des pays en développement consommait autant que le Japonais de 1973, la consommation mondiale atteindrait 30 Gtep en 2050, soit trois fois celle d'aujourd'hui. Même en imaginant une consommation très économe, les experts semblent être

unanimes pour estimer qu'un doublement (voire un triplement) de la consommation actuelle est envisagé. [1] ; [12] ; [20].

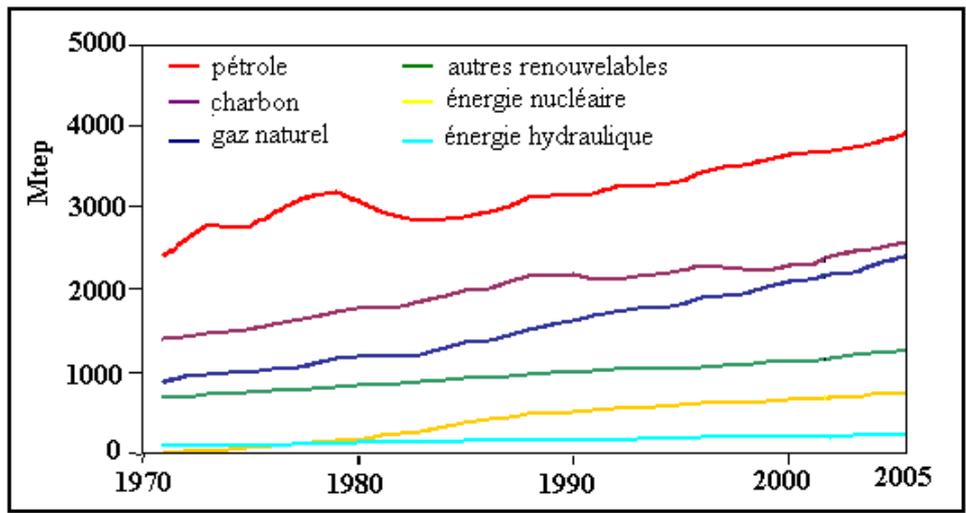


Figure II-5 : Evolution de la consommation mondiale d'énergie.

Source : World Energy Outlook. [3]

On remarque sur la *figure 5* que toutes les formes d'énergie ont connu une augmentation de leur consommation depuis 1970. Cette évolution linéaire n'augure rien de bon en terme de réserves et surtout en terme de climat si elle venait à continuer. La demande énergétique mondiale augmentera d'environ 1,8% par an entre 2000 et 2030. [16]

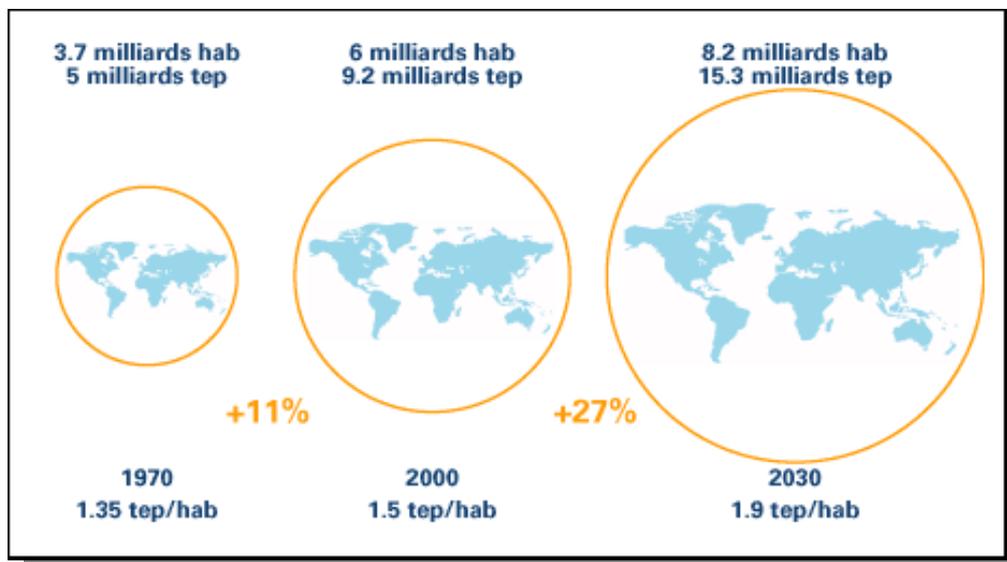


Figure II-6 : Croissance énergétique dans le monde

Source : AIE/BP review [16]

Bien qu'il existe des scénarii multiples et contrastés, la majorité des prévisionnistes nous indiquent que la consommation d'énergie primaire commerciale devrait environ doubler d'ici 2030, passant de 10 à 15 Gtep et tripler d'ici 2050, passant à environ 25 ou 30 Gtep. Selon ces

études, les énergies fossiles ne devraient plus représenter en 2050 qu'au mieux les deux tiers de ces consommations contre 85 % actuellement.

L'ensemble des prévisionnistes s'accorde sur le fait que la croissance de la consommation résulterait en grande partie des pays émergents, dont certains, comme la Chine ou l'Inde, connaissent une croissance économique soutenue. La demande de ces pays augmentera, en effet, trois fois plus vite que celle de la zone OCDE² pour atteindre près de la moitié de la demande totale de pétrole à l'horizon 2030 (contre 13 % en 1970). [17]

Pourquoi allons-nous avoir une telle augmentation ?

Parce que, dans les pays occidentaux :

- on consomme de plus en plus de produits dont la fabrication coûte de l'énergie et engendre des émissions de gaz à effet de serre
- on achète de plus grosses voitures et on roule plus
- on prend plus souvent l'avion,

En bref, la croissance économique de ces pays a tendance à les faire consommer plus d'énergie.

Et parce que, dans les pays "en développement", les habitants aspirent :

- à rouler en voiture, comme dans les pays riches,
- à prendre l'avion, comme dans les pays riches,
- à manger beaucoup de viande, comme dans les pays riches (la production de viande est une source majeure de gaz à effet de serre).

Bref, ils aspirent au mode de vie des pays riches, particulièrement à celui des américains, qui sont les plus gros consommateurs d'énergie par habitant de la planète.

II.6 Les conséquences de la consommation énergétique :

La consommation énergétique mondiale ne se traduit pas uniquement en chiffres et en records, mais elle génère des problèmes très graves et qui auront un impact sur tous les peuples.

Les questions climatiques et la raréfaction des énergies fossiles sont deux défis majeurs auxquels notre monde est confronté. Tous deux nous rappellent, qu'une croissance infinie (de nos émissions polluantes ou de nos consommations énergétiques) dans un monde fini n'est pas envisageable.

² : Voir annexe 3, pays membres de l'OCDE

II.6.1 Epuisement des ressources naturelles :

Il semble évident que, si rien ne change, l'humanité aura brûlé d'ici la fin du siècle toutes les énergies fossiles disponibles à la surface du globe et devra faire face à une crise jamais connue auparavant. Nos modes de vie en seront profondément affectés tant nos économies sont dépendantes d'une énergie abondante et bon marché.

Dans le cas où la consommation mondiale reste constante, nous disposons :

- d'environ 40 ans de réserves prouvées de pétrole conventionnel, mais les réserves prouvées ne représentent pas l'intégralité du pétrole qui sera extractible un jour . Mais aujourd'hui, pour six barils consommés chaque jour, un seul est découvert.
- de plus de 60 ans de gaz (les estimations varient de 65 à 100 ans) ;
- de plus de 2 siècles de charbon.

Malheureusement, la supposition que la consommation mondiale reste constante n'est qu'une utopie, c'est évidemment loin d'être le cas : l'être humain devient de plus en plus énergétivore. De plus, le développement économique spectaculaire de certains pays tels que l'Inde et la Chine, est accompagné d'une augmentation exponentielle de leur consommation énergétique et qui aura un fort impact vu leur démographie.

La sagesse nous impose de ce fait, de diversifier notre panier énergétique et surtout de *limiter nos consommations*. La seule énergie qui soit absolument non polluante et qui n'aggrave pas notre dépendance énergétique est celle qui n'est pas consommée.

II.6.2 Le changement climatique :

Les activités humaines sont désormais menées à une telle échelle que des systèmes naturels complexes comme le climat mondial s'en trouvent perturbés.

Le réchauffement climatique correspond à une augmentation globale des températures moyennes des océans et de l'atmosphère. Il s'agit d'un phénomène observable à l'échelle du globe.

Le Changement Climatique est tenu pour l'une des menaces les plus sérieuses pesant sur la durabilité de l'environnement de la planète, sur la santé, le bien-être humain, et sur l'économie mondiale. Les progrès de la connaissance scientifique ont transformé peu à peu ce qui était au départ une simple hypothèse — un réchauffement climatique causé par l'homme — en une quasi-certitude.

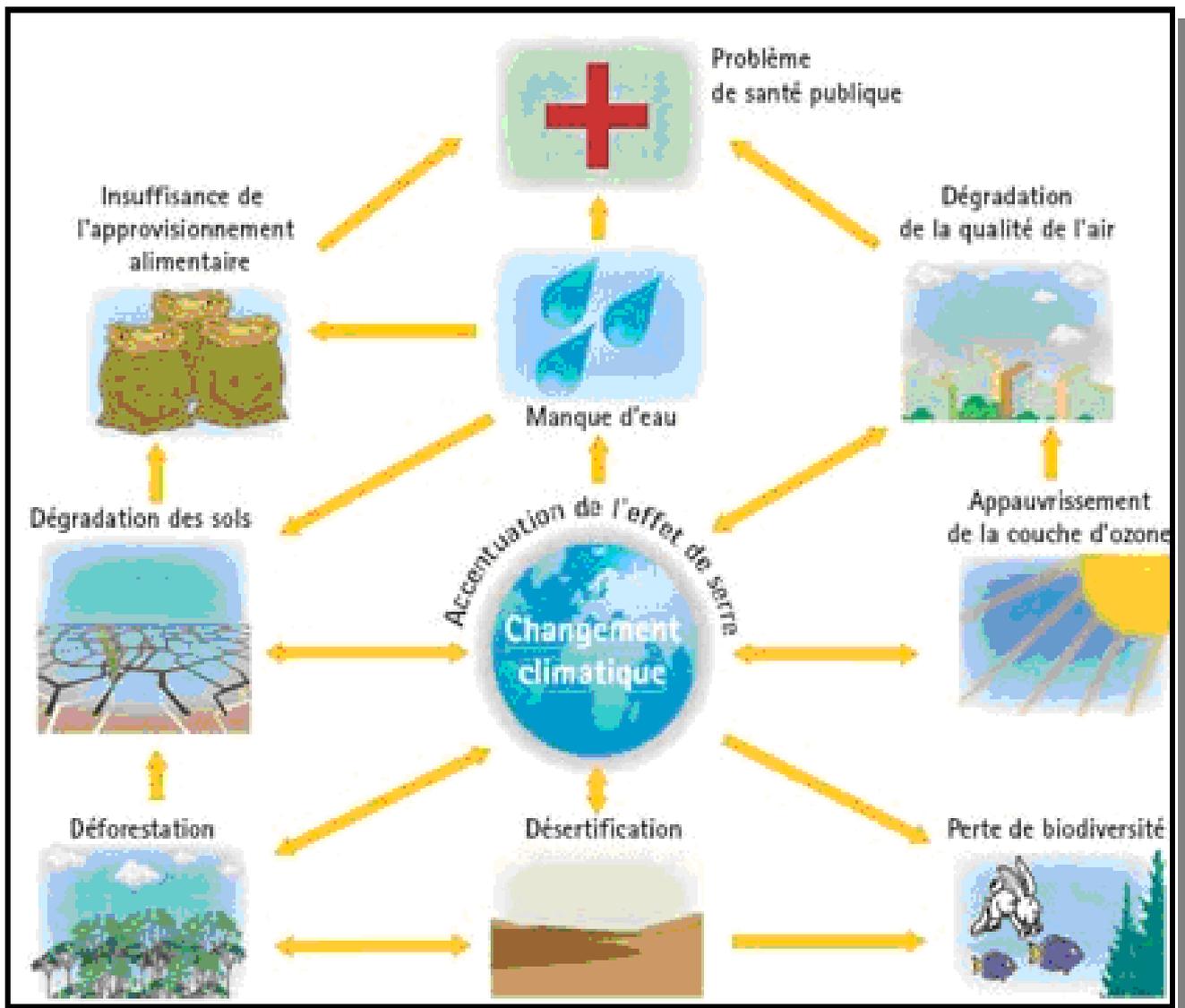


Figure II-7 : Le changement climatique et ses interactions avec d'autres problèmes globaux.
Source : Le défi pour la terre. [7]

Le changement climatique annoncé fait peser sur l'homme de nombreuses menaces parmi lesquelles :

II.6.2.1 L'observation du système climatique :

Au cours du vingtième siècle, la température moyenne au niveau du sol terrestre a augmenté de $0,6 \pm 0,2$ °C, l'essentiel du réchauffement s'étant produit depuis 1976. La décennie 1990-1999 a été la plus chaude du vingtième siècle et 1998, l'année où les températures ont été les plus élevées depuis que des relevés météorologiques sont effectués. Les dix années les plus chaudes se situent toutes entre 1990 et 2005.

Et ce n'est pas fini, le GIEC prévoit une hausse moyenne des températures entre 2000 et 2100 de 1,5 à 6°C. De nombreuses espèces disparaîtront alors... [19] ; [22]

II.6.2.2 L'accentuation de gaz à effet de serre :

Le changement climatique est dû à l'accentuation de gaz à effet de serre, dus à l'utilisation excessive d'énergie par l'homme, toutes ces dernières années³.

II.6.2.3 La fonte des calottes glacières :

Une des principales résultantes potentielles du réchauffement climatique réside dans la fonte de la banquise arctique éventuellement suivie de celle de certaines calottes glaciaires (Groenland, Antarctique Ouest). Cette fonte des calottes pourrait induire une élévation maximum du niveau des mers de l'ordre de 6 à 7 mètres chacune. Cette élévation menacerait, bien des régions, et aurait pour conséquences :

- La submersion de certaines îles et terres côtières, l'inondation de deltas, de forêts de palétuviers et zones de végétation côtières et le déplacement de millions de personnes.
- la possibilité de voir se multiplier les manifestations climatiques extrêmes telles que les sécheresses, les cyclones, les tempêtes tropicales, les tsunamis, les ouragans ...
- le déclin du rendement de la production céréalière de 10 à 15 % en Afrique, en Amérique Latine et en Asie au cours des 50 prochaines années. Un huitième de la population mondiale serait alors menacé de famine. La production agricole pourrait également baisser dans les pays d'Amérique du Sud et d'Europe.
- La menace de nombre de récifs de coraux en raison du réchauffement de la mer et l'élévation de son niveau.

Dans les vingt prochaines années, le changement climatique pourrait provoquer une grande catastrophe entraînant la perte de millions de vies au cours de désastres naturels et de guerres...

Les problèmes du réchauffement climatique se répercutent immédiatement sur :

- Déplacement massif de populations dû à l'augmentation de 9 à 88 cm du niveau des mers avec risque d'inondations, voire de submersion, pour le Bangladesh, les atolls du Pacifique ou la Camargue ;
- Risque sanitaire avec le développement des maladies transmissibles par les moustiques et parasites (paludisme, fièvre jaune, etc.) du fait d'une modification de leurs aires de reproduction ;
- Réduction de la sécurité d'approvisionnement en eau avec l'augmentation des sécheresses et l'évolution du cycle de l'eau ;

³ : Voir chapitre IV, consacré aux émissions de GES

- Accentuation de l'effet de serre avec la fonte du sol gelé en permanence dans les régions froides engendrant l'émission de méthane ;

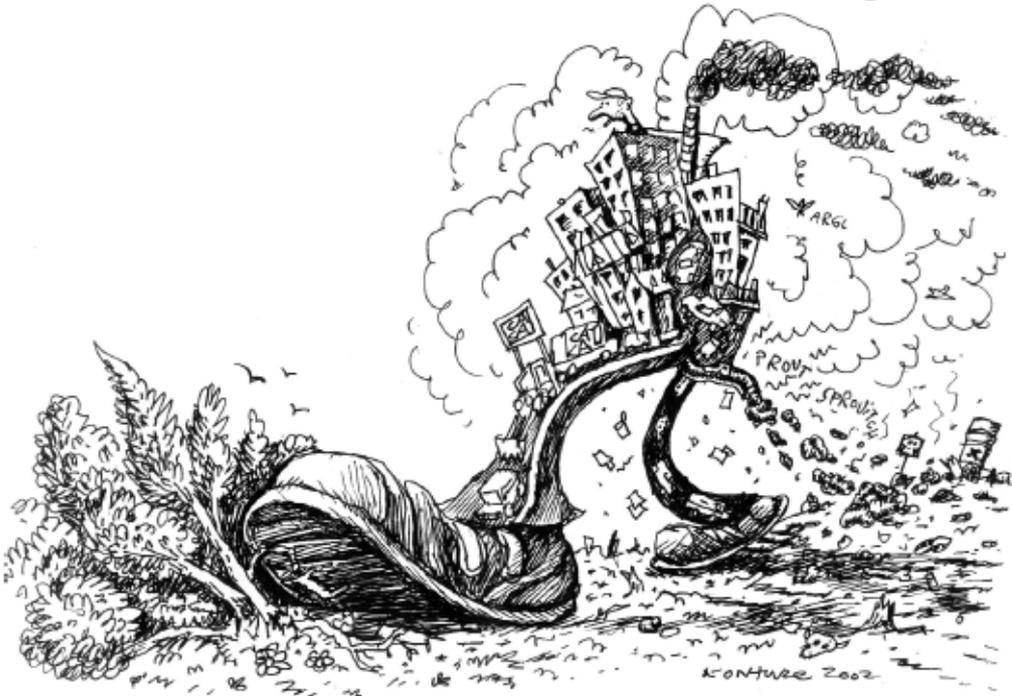
Il faut prendre conscience que le devenir de la planète dans son ensemble est en jeu, l'humanité toute entière est en cause dans son bien être, dans sa santé, dans sa sécurité, et jusque dans sa survie.

L'optimisation de la consommation est un enjeu essentiel des politiques énergétiques nationales et mondiales parce que la politique « consommer mieux en consommant moins » devient une nécessité.

Il s'agira dans les prochaines années plus de s'adapter pour limiter le phénomène du réchauffement (à travers les émissions de gaz à effet de serre) que de s'adapter au réchauffement lui même.

Chapitre III :

Empreinte écologique et biocapacité de la Terre : le déficit écologique



Si l'on regarde l'histoire de la révolution industrielle, on constate que le concept économique sous-jacent était celui de faire comme si la capacité de la nature à nous fournir des ressources et à digérer nos rejets était sans limites.

Or il a bien fallu admettre que ces ressources surexploitées sont de plus en plus difficiles à substituer ou à reconstituer, et finissent par manquer. L'étude de la biocapacité et de l'empreinte écologique, va nous permettre de connaître l'état de notre Terre et de mettre en exergue son déficit écologique qui ne cesse d'augmenter.

III.2 L’empreinte écologique :

La notion d’empreinte écologique a été inventée et développée dans les années 1990 dans le but ‘*de mesurer le poids réel de l’emprise humaine sur la Terre*’.

La principale innovation de l’empreinte écologique réside dans son approche : loin des démarches environnementales classiques, de comptages d’espèces, de mesure de polluants ou des impacts négatifs de l’homme sur l’environnement, l’empreinte écologique ne prend pas pour point de départ la nature. Au contraire, elle commence par définir les volumes de production et de consommation pour ensuite évaluer leur impact sur l’environnement.

III.2.1 Définition de l’empreinte écologique :

L’empreinte écologique permet de qualifier et de quantifier le poids de l’Homme sur la nature, et ce, en mesurant la surface écologique productive nécessaire au maintien durable de la population à son niveau de vie actuel, c’est-à-dire :

- ▶ Pour fournir l’énergie et les matières premières consommées par la population.
- ▶ Pour éliminer tous les déchets de la population avec sa technologie.

Cet indicateur nous apporte des informations simples et précises sur l’impact que l’Homme fait subir à l’environnement. Il dispose également d’un atout indéniable : il peut être adapté à l’ensemble des sphères de l’activité humaine, de l’humanité toute entière au simple citoyen.

III.2.2 Le principe de l’empreinte écologique :

Une société est assimilable à un organisme vivant, qui consomme des ressources et rejette des déchets pour vivre. Partant de ce constat, il reste à évaluer la consommation de ressources et la production de déchets d’un individu, d’une population ou d’une société donnée, puis de définir la surface théorique de sol nécessaire pour produire les biens et services consommés et assimiler l’ensemble des déchets résultants.

Ces surfaces dites « productives » sont les surfaces arables, les pâturages, les forêts, les mers et océans, mais aussi les terres construites. Une dernière catégorie, le sol énergétique, est prise en compte aux fins d’appréhender la consommation d’énergie qui s’appuie fortement aujourd’hui sur l’emploi de ressources d’origine fossile, non renouvelables. L’emploi massif de ces énergies sur une courte période « l’ère industrielle » introduit dans l’atmosphère une importante quantité de carbone avec des conséquences importantes au niveau de l’augmentation de l’effet de serre et les déséquilibres climatiques qui en découlent.

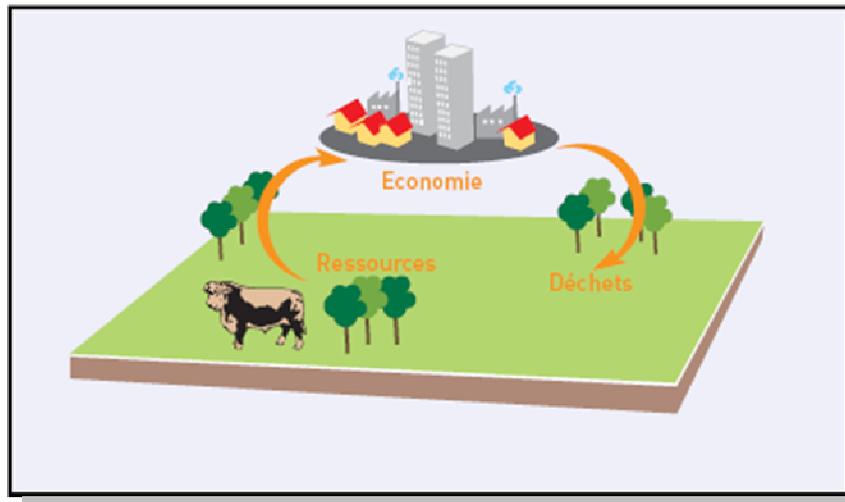


Figure III-1: Illustration du principe de base de l’empreinte écologique
Source : L’empreinte écologique du Grand Lyon [25]

III.2.3 Que prend-on en compte :

Quelque soit l’entité concernée (le monde, un pays, une ville ou un individu) le principe est le même. L’ensemble des données de consommation et de production de polluants et de déchets est transformé en surface, selon les différentes catégories de sols. La somme de toutes ces surfaces donne l’empreinte écologique totale de l’entité considérée, et doit être comparée aux surfaces réellement disponibles⁴. (Tableau 1)

	Sol énergétique	Sol dégradé	Terres arables	Pâturages	Forêts	Espace marin
Aliments	Carburants des tracteurs, des camions de transport, énergie utilisée par l’industrie agro alimentaire, chaîne du froid, etc.	Emprise des bâtiments agricoles, des industries agro-alimentaires, des magasins alimentaires	Surfaces cultivées pour les légumes, les céréales, les fruits, etc.	Viande, lait...		Poissons, crustacés, coquillages...
Logement	Energie nécessaire à la construction, au chauffage, à l’éclairage, etc.	Emprise des bâtiments d’habitation			Bois des charpentes, des menuiseries	
Transport	Carburants	Emprise des infrastructures routières				
Biens de consommation et services	Energie nécessaire à l’extraction des matières premières, à leur transformation, au transport, au fonctionnement des locaux, etc.	Emprise des carrières, des entreprises, des bureaux, etc.	Coton, lin, matières premières végétales	Laine, cuir, etc.	Bois	

Tableau III-1: Catégories de sols prises en comptes par secteur
Source : www.geocities.com [30]

⁴ : Voir II.3 : La biocapacité

III.2.4 La composition de l'empreinte écologique :

Sans avoir besoin d'une quelconque analyse, on se doute bien que l'empreinte écologique d'un nomade saharien et celle d'un citoyen d'Europe sont fort différentes, aussi bien en surface qu'en composition. En effet, l'empreinte écologique évolue en fonction du niveau de vie et de développement des personnes et des sociétés.

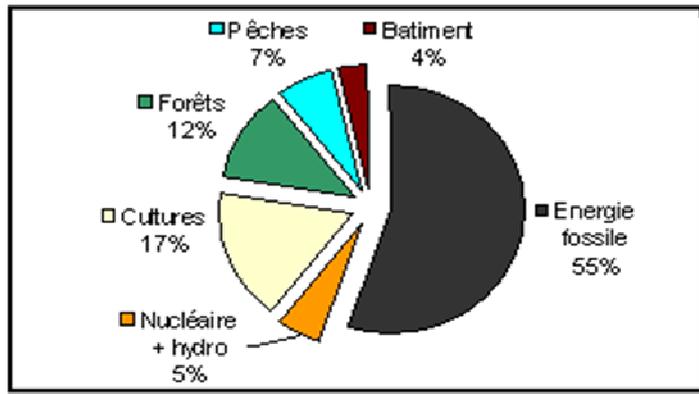


Figure III-2: Composition de l'empreinte écologique de pays à revenus élevés
Source: Ecological Footprints of Nations, 2004. [8]

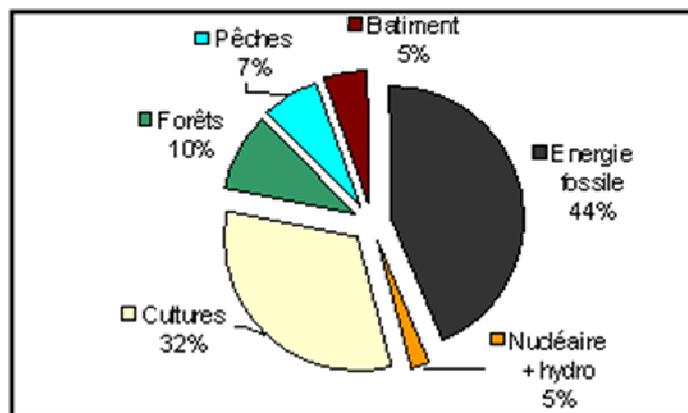


Figure III-3: Composition de l'empreinte écologique de pays à revenus moyens
Source: Ecological Footprints of Nations, 2004. [8]

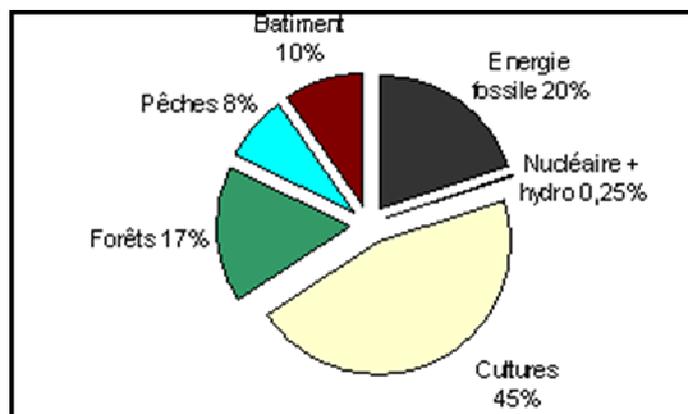


Figure III-4: Composition de l'empreinte écologique de pays à faibles revenus
Source: Ecological Footprints of Nations, 2004. [8]

Les figures 2,3, et 4 illustrent clairement que les sources de l’empreinte écologique diffèrent en importance selon les revenus des pays. En effet, l’empreinte énergétique représente plus de la moitié de l’empreinte écologique pour les pays à revenus élevés, contre 49% pour les pays à revenus moyens, et seulement 20% pour les pays à faible revenu.

Signalons aussi, que pour les pays à faible revenu, c’est la biomasse qui constitue leur principale source d’empreinte écologique ; ceci est tout à fait normal puisque plus de 2 milliards de personnes n’ont que la biomasse comme énergie disponible !

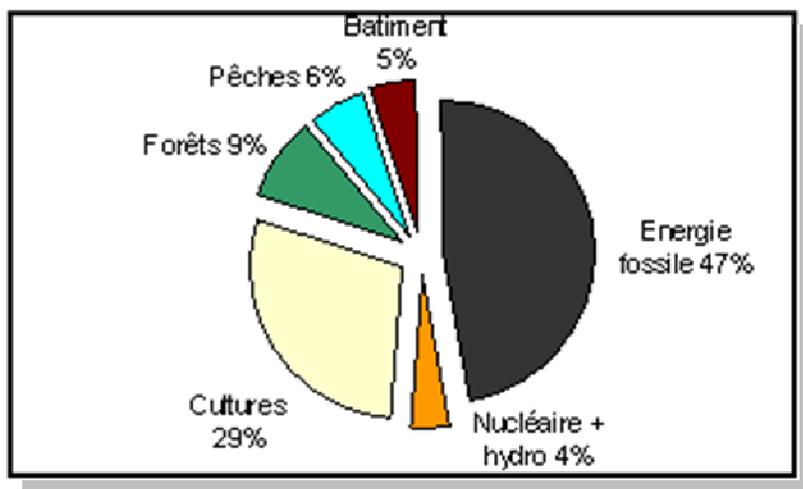


Figure III-5: Composition moyenne de l’empreinte écologique dans le monde.

Source: *Ecological Footprints of Nations, 2004.* [8]

Les facteurs contribuant à l'empreinte écologique d'un pays ou région varient de différentes façons⁵. La plus grande partie de l'empreinte écologique globale (mondiale) vient de la combustion des énergies fossiles. La consommation de combustibles fossiles est suivie par l'utilisation de cultures et de forêts.

III.2.5 L’empreinte écologique par région:

L’empreinte écologique est proportionnelle à la consommation énergétique dans le monde car comme nous l’avons vu ci-dessus, 47% de l’empreinte écologique provient de la combustion de combustibles fossiles

⁵ : Voir annexe 2 : Les facteurs influant sur l’empreinte écologique.

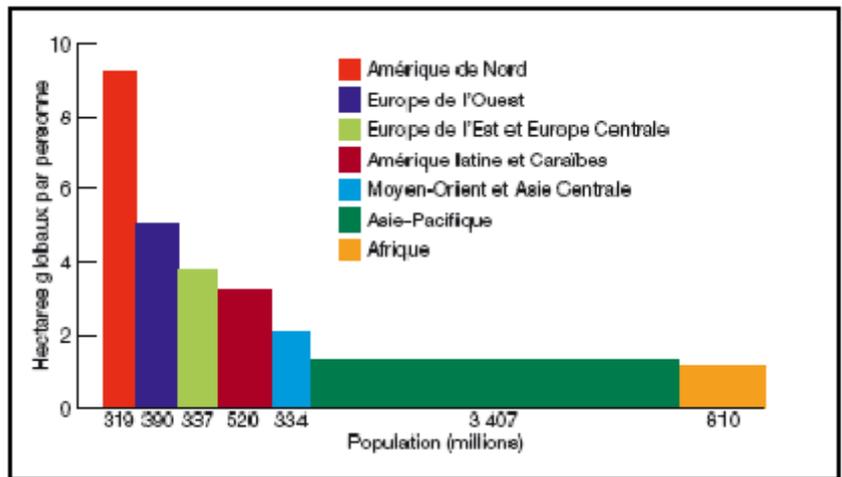


Figure III-6 : L'empreinte écologique par région en 2001.

Source : *Rapport planète vivante 2006*. [10]

Sur la *figure 6*, la hauteur de chaque barre est proportionnelle à l'empreinte moyenne par personne, la largeur de la barre à sa population et la surface de la barre à l'empreinte écologique totale de cette région.

On comprend tout de suite en analysant ce graphique, que, plus que la composition de l'empreinte écologique, c'est l'empreinte écologique elle-même qui change selon le revenu d'un pays. En effet, les pays riches tels que l'Amérique du Nord ou l'Europe de l'Ouest, avec une population qui ne dépasse pas un million d'habitants, ont une empreinte qui dépasse de loin les pays d'Afrique et d'Asie, dont les populations sont au nombre de 4 milliards.

III.2.6 Evolution de l'empreinte écologique :

La *figure 7* nous présente l'évolution de l'empreinte écologique et de ces différents composants de 1960 à 2003

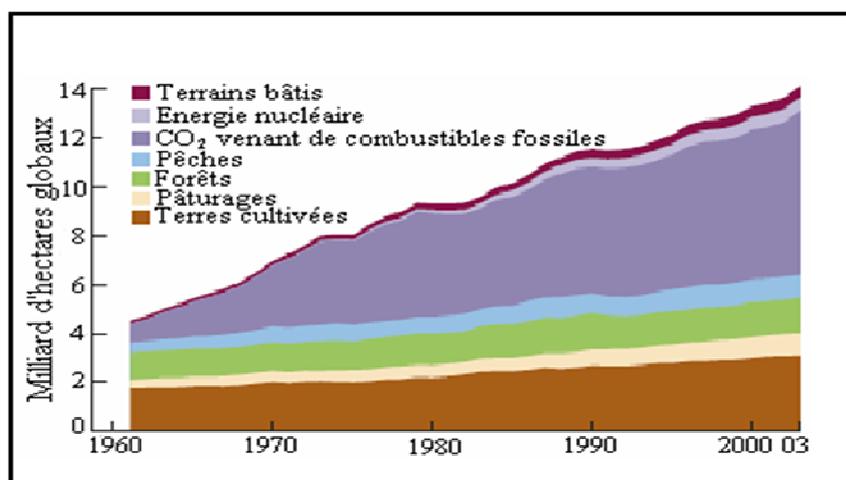


Figure III-7 : L'évolution de l'empreinte écologique 1960-2003

Source : *L'empreinte écologique du Grand Lyon* [25]

Depuis 1960, l'empreinte écologique de l'énergie a fortement augmenté, puisqu'elle a plus que décuplé au cours des quarante dernières années. Les empreintes de l'élevage et de la pêche ont doublé ou triplé, essentiellement suite à l'accroissement des besoins. Un autre domaine dont l'empreinte écologique a plus que doublé, c'est celui des surfaces urbanisées et des infrastructures de transport. Quant à l'empreinte de l'économie forestière, elle a bel et bien connu un accroissement, mais il est inférieur à celui de l'accroissement démographique durant la même période.

L'empreinte écologique des cultures, enfin, n'a que peu augmenté dans l'ensemble, même si la population de la planète a plus que doublé durant la période d'observation. Ce phénomène s'explique par l'accroissement massif de la productivité par unité de surface. L'intensification de l'agriculture porte ainsi sa part de responsabilité dans l'augmentation énorme de la consommation d'énergie. [25]

III.2.7 Points faibles de L'empreinte écologique : [28]

III.2.7.1 La profondeur réelle de l'empreinte écologique:

Le chiffre qu'on lui attribue tend à être trop faible, car elle ne prend pas en compte certains aspects qualitatifs et d'autres, difficiles à quantifier (tels les matières non dégradables, la nocivité des déchets, les pertes en matière de biodiversité, la consommation d'eau douce).

III.2.7.2 L'épuisement de ressources non renouvelables:

L'empreinte écologique ne mesure qu'indirectement la consommation de ressources non renouvelables, mais elle ne représente pas le caractère fini de ces ressources.

III.2.7.3 Les activités intrinsèquement non durables:

Les activités et les phénomènes qui ne peuvent en aucun cas être en conformité avec les exigences du développement durable, tels que la pollution due aux métaux lourds ou aux polluants difficilement dégradables (PCB, PVC, dioxines), et qui ne sont pas pris en compte dans le calcul de l'empreinte écologique. Ces matières étant difficilement, voire pas dégradables par la nature, il est impossible de déterminer la surface nécessaire y relative.

III.2.7.4 La perte de diversité biologique:

La perte de biodiversité qui accompagne par exemple le déboisement des forêts ou l'intensification de l'agriculture n'apparaît pas dans l'empreinte écologique.

III.2.7.5 Le tourisme:

Les ressources consommées par les touristes sont comptabilisées dans le pays de destination, et non dans le pays d'origine des touristes. Ce décalage n'a toutefois pas d'effet sur l'empreinte écologique globale.

III.2.8 Point forts de L'empreinte écologique :

En dépit de ces limites, l'empreinte écologique constitue un excellent support de communication, en atteste ce qui suit :

- Son unité de mesure est très facilement compréhensible et il devient possible d'en visualiser facilement l'impact. Ainsi c'est plus simple de dire « il faut un demi hectare pour absorber le CO₂ émis par votre voiture » que « votre voiture émet 160 grammes de CO₂ au kilomètre ».

- Dès lors qu'on met en perspective les hectares consommés et ceux disponibles, la notion de durabilité écologique devient très claire et permet de se rapporter à une unité encore plus explicite et symbolique : le nombre de planètes.

- Elle peut permettre de hiérarchiser des propriétés, puisqu'elle permet de visualiser rapidement, ce qui dans notre mode de vie, consomme le plus de surface.

III.3 La biocapacité de la Terre :

La notion la plus couramment utilisée en relation avec l'empreinte écologique est celle de biocapacité. La biocapacité, ou surface biologiquement productive, est la superficie de sols et d'espaces marins biologiquement productifs, disponibles sur Terre. Elle peut être exprimée en hectares globaux.

Une surface biologiquement productive est une zone de terre ou de mer qui a une activité photosynthétique et de production de biomasse importante. Les zones marginales à végétation raréfiée et les zones non productives ne sont pas incluses. Il y a 11,3 milliards d'hectares globaux de terres et de mers biologiquement productives sur la planète. Les trois-quarts restant de la surface de la Terre, déserts, calottes glaciaires, océans à grand fonds, par comparaison, ont de faibles niveaux de bioproduktivité, trop dispersés pour être récoltés.

La bioproduktivité (productivité biologique) est égale à la production biologique par hectare et par an. La productivité biologique se mesure généralement en termes d'accumulation de biomasse.

La biocapacité disponible par personne se calcule comme suit: la division des 11,3 milliards hectares globaux de surface biologiquement productive par le nombre d'individus en

vie – 6,15 milliards en 2001 – ce qui donne la quantité moyenne de biocapacité par personne sur la planète, soit 1,8 hectare global. [23]

III.4 La dette écologique :

III.4.1 Définition du déficit écologique :

Un déficit écologique apparaît lorsque l’empreinte écologique d’une région définie (par exemple un pays) est supérieure à la biocapacité correspondante, en d’autres termes lorsque la consommation dépasse la production naturelle de cette région. Le déficit économique d’un pays peut être compensé par l’importation de produits, donc par l’achat de biocapacités étrangères. La part non couverte du déficit conduit à l’épuisement du capital naturel d’un pays (surexploitation des ressources écologiques). Le déficit écologique global de la Terre ne peut pas être compensé.

III.4.2 La terre en déficit écologique :

L’empreinte écologique de la Terre atteint en moyenne 2,2 hectares globaux par personne. Depuis la fin des années soixante dix, l’empreinte écologique globale dépasse la biocapacité globale. Autrement dit, l’humain consomme plus rapidement le capital naturel de la Terre que cette dernière ne parvient à le régénérer. (Figure 8)

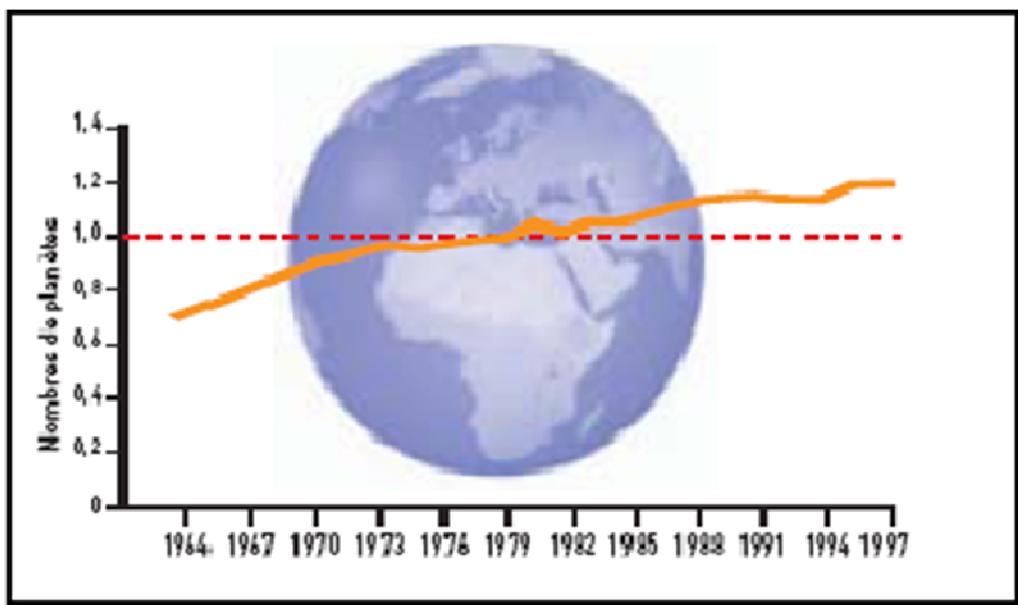


Figure III-8 : Evolution de l’empreinte écologique et de la biocapacité

Source : *L’empreinte écologique du Grand Lyon* [25]

Autrement dit aujourd’hui nous utilisons 1,2 planètes, alors qu’il n’en existe qu’une de disponible, c’est-à-dire qu’il nous faudrait 1 an et un peu plus de 2 mois pour régénérer les ressources consommées par l’humanité en 1 an. [25]

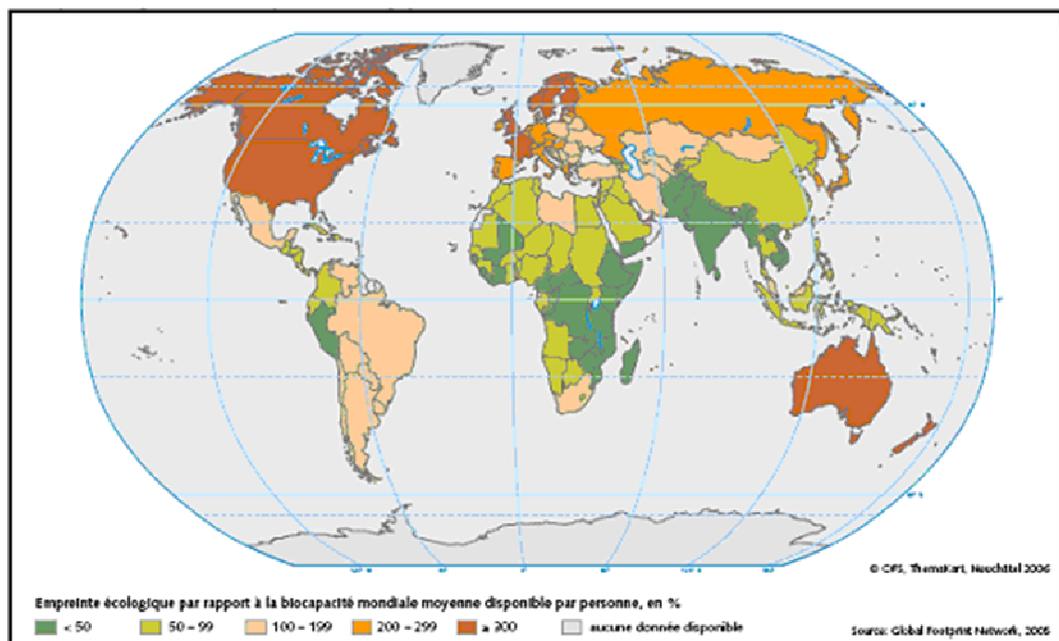


Figure III-9 : Répartition globale de l’empreinte écologique et de la biocapacité.
Source : Global footprint network 2005 [23]

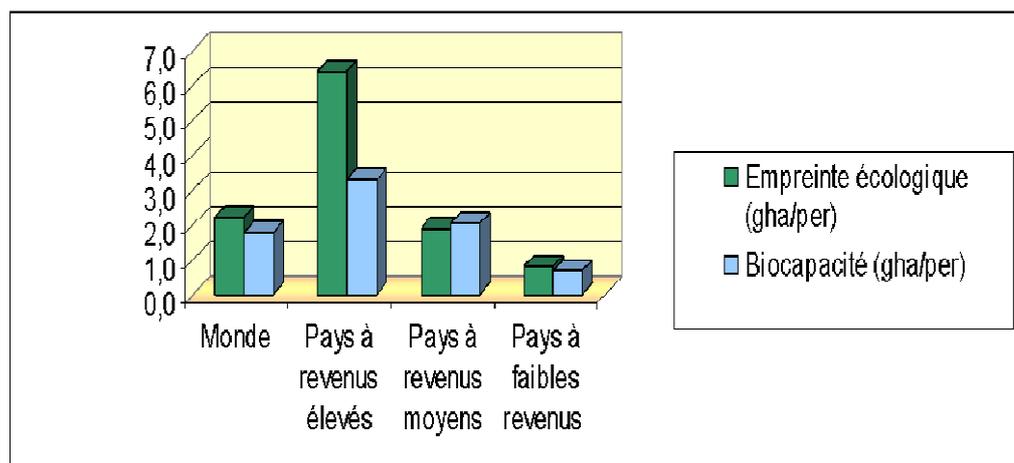


Figure III-10 : Histogramme de l’empreinte écologique par revenu des pays
Source : Rapport Planète vivante 2006 [10]

La charge que les pays industrialisés du Nord exercent sur la nature est jusqu’à trois fois supérieure à celle qui leur revient en moyenne mondiale. Atteignant 9,5 hectares globaux par personne, l’empreinte écologique de l’Amérique du Nord dépasse très largement celle de toutes les autres régions. Elle est même neuf fois plus grande que celle de l’Afrique. Celle de l’Europe occidentale est aussi nettement plus grande que la moyenne, pendant que les pays du Sud, tout particulièrement le continent africain et le sud-est asiatique, sollicitent nettement moins de biocapacité par habitant.

L'essor des pays nouvellement industrialisés fortement peuplés, tels que l'Inde, la Chine et le Brésil, qui adoptent le modèle économique du Nord, grand consommateur d'énergie et de ressources, induira une croissance supplémentaire de l'empreinte écologique de la Terre durant les années à venir.

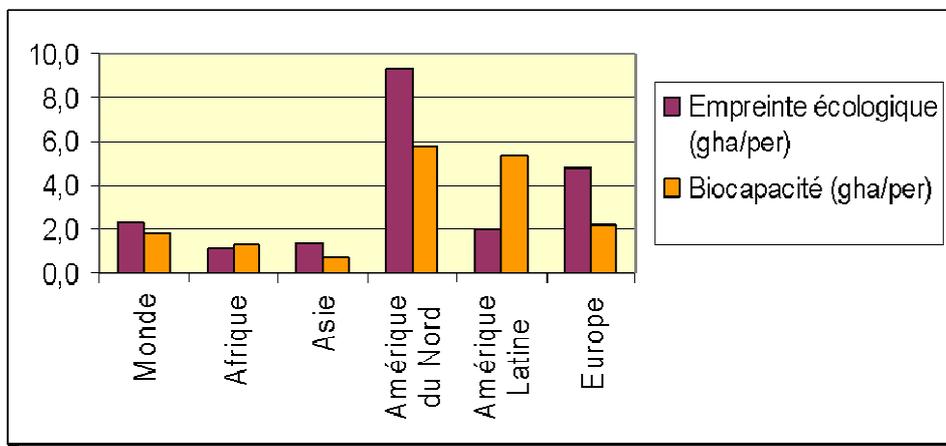


Figure III-11 : Histogramme de l'empreinte écologique par continent.

Source : Rapport Planète vivante 2006 [10]

A l'exception de l'Afrique et l'Amérique latine qui ont encore de la marge, le reste du monde est en déficit écologique et notamment l'Amérique du Nord et l'Europe qui ont une empreinte écologique bien plus importante que leur biocapacité.

III.4.3 Comment se fait-il que la vie sur Terre n'ait pas disparu alors que notre empreinte écologique est plus grande que la surface existante ? [24]

Parce que la terre a des réserves ! Le calcul de l'empreinte écologique s'inscrit dans une perspective durable de la vie sur la planète.

Mais il est fort de constater que, depuis l'ère industrielle, la civilisation occidentale à épuisé les ressources fossiles (pétrole, charbon...) plus rapidement que les forces vivantes qui ont mis des milliers, voire des millions d'années à se former...

Comme exemple des forces vivantes, la couche d'humus qui a mis des millions d'années pour former l'incroyable richesse de l'équilibre actuel, qui supporte notre agriculture et toute forme de vie sur terre, entre autre, les grandes forêts qui nous offrent leur bois et qui recyclent nos surplus de gaz carbonique. Egalement les océans regorgent qui regorgent de poissons... Mais à force de consommer ces réserves, il ne restera plus rien pour les générations futures !...

III.4.5 Les pays débiteurs et créditeurs écologiques : [10]

Le temps de classer les pays en « pays en développement » et en « pays développés » est révolu, car aujourd'hui des méthodes de calcul comme celle de l'empreinte écologique sont

révélatrices de l'impasse dans laquelle se trouvent les modes de développement actuels : l'on se doit de réfléchir à présent en termes de débiteurs et de créiteurs écologiques.

Cette nouvelle donne a pour conséquence de modifier en profondeur la géopolitique actuelle, caractérisée par la puissance de l'Occident industrialisé, en donnant une nouvelle visibilité sur la disponibilité des ressources.

Il pourrait être objecté que cela n'a pas de sens dans un contexte de mondialisation des échanges commerciaux : et pourtant, ce qui est calculé relève de ce qui est utilisé pour la demande finale du pays.

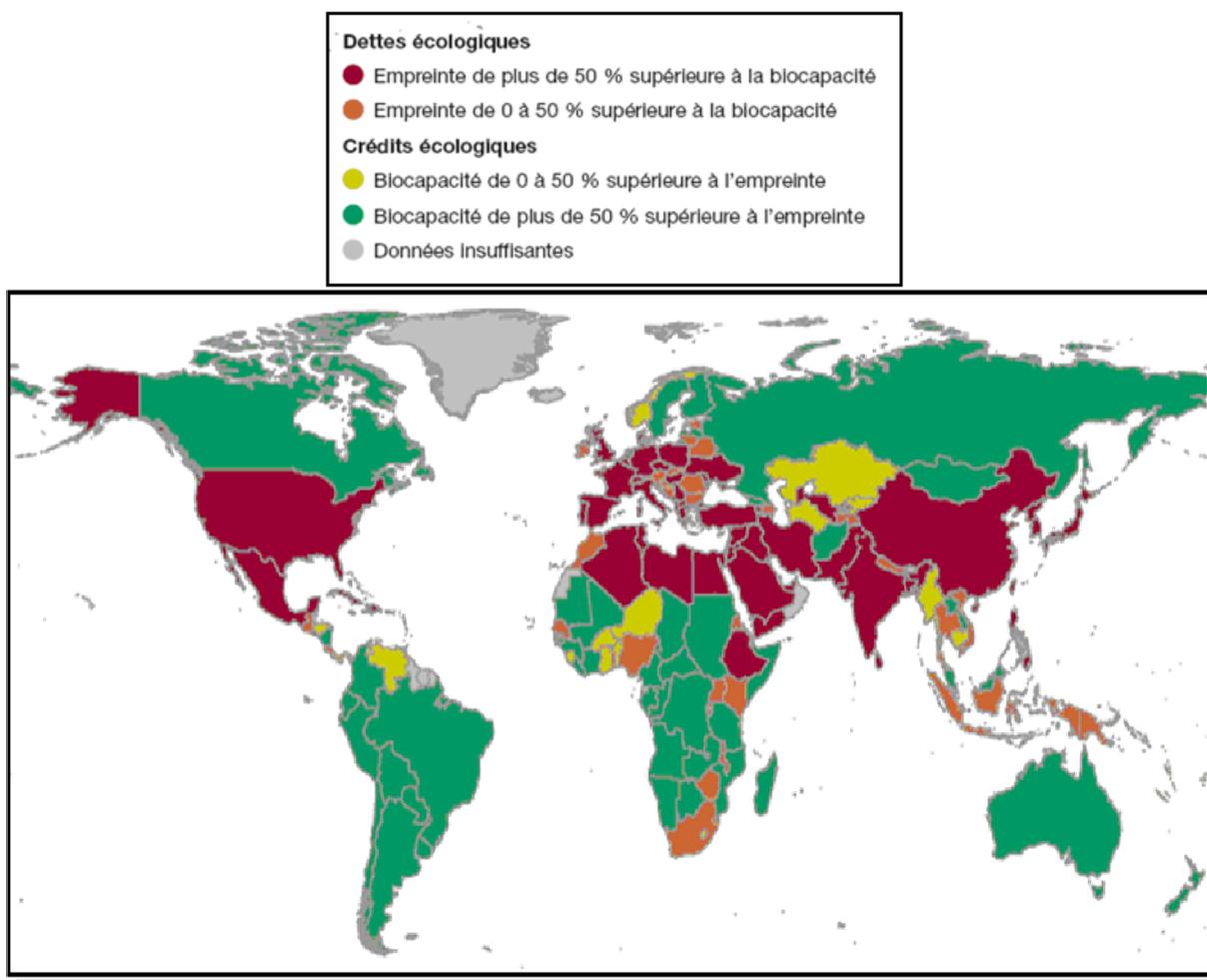


Figure III-12 : Schéma du déficit écologique mondial 2003

Source : www.footprintnetwork.org [10]

Les pays débiteurs écologiques utilisent plus de biocapacité que ce dont ils disposent à l'intérieur de leurs propres territoires pendant que les pays créiteurs écologiques ont des empreintes plus petites que leur propre biocapacité.

En comparant notre utilisation de la nature et la capacité de la terre à nous supporter, l'empreinte écologique est un indicateur du développement durable, ou non durable dans le cas de déficits écologiques.

Il est plus logique de parler de non durable, puisque la capacité régénératrice de la Terre n'arrive plus à suivre la demande : l'homme transforme les ressources en déchets plus vite que la nature ne peut transformer ces déchets en ressources.

L'humanité ne vit plus des intérêts de la nature mais attaque son capital. Cette pression croissante sur les écosystèmes cause la destruction ou la dégradation d'habitats et la perte permanente de productivité, menaçant à la fois la biodiversité et le bien-être humain.

Chapitre IV :

Le bilan carbone : Une mesure des émissions de CO₂



La forte consommation d'énergie dans le monde est la cause principale de la dégradation de l'environnement. Notamment en consommant de l'énergie, les émissions de gaz à effet de serre augmentent ce qui implique un changement climatique et par conséquent une augmentation de la température moyenne de la Terre.

Expliquer la notion de gaz à effet de serre est un préalable dans ce chapitre, puisque le bilan carbone repose sur cette notion.

IV.2 Les gaz à effet de serre :

IV.2.1 Définition des gaz à effet de serre :

L'effet de serre est, à l'origine, un phénomène naturel. Il permet à la température de la basse atmosphère de se maintenir autour de 15°C en moyenne et conditionne le foisonnement de différentes formes de vie sur la Terre. Sans lui, la température moyenne de la surface de la Terre avoisinerait -18°C interdisant toute forme de vie.

Le phénomène d'effet de serre est lié à la présence dans l'atmosphère de certains gaz qui piègent le rayonnement émis par la Terre (infrarouge).

Une partie de ce rayonnement est réémise en direction du sol, contribuant ainsi au réchauffement des basses couches de l'atmosphère.

Les gaz qui favorisent ce phénomène sont appelés "*à effet de serre*" justement par analogie avec la pratique en culture et jardinerie de construire des serres, espaces clos dont une ou plusieurs faces sont transparentes, laissant passer la chaleur du soleil et la retenant prisonnière à l'intérieur afin de permettre aux plantes de bénéficier d'un microclimat artificiel.

IV.2.2 L'effet de serre, un phénomène anthropique :

Depuis le début des années 80, plusieurs conférences internationales ont montré que l'influence de l'homme semble être un facteur dominant du réchauffement atmosphérique observé.

La cause de ce réchauffement serait l'augmentation massive de certains rejets gazeux dans l'atmosphère provenant de diverses activités humaines (industries, automobiles, élevage intensif...).

IV.2.3 Le pouvoir de réchauffement des gaz à effet de serre :

Tous les gaz n'ont pas le même pouvoir de réchauffement. Dans l'atmosphère, les gaz à effet de serre retiennent plus ou moins efficacement la chaleur et n'ont pas la même durée de vie. Les GES n'ont donc pas le même "pouvoir de réchauffement global" (PRG), ce dernier varie :

- Selon leur composition moléculaire, ils piègent plus ou moins fortement le rayonnement émis par la terre.
- Par ailleurs, plus un gaz à effet de serre met du temps à disparaître, plus sa capacité à réchauffer l'atmosphère est importante. Voilà pourquoi des gaz émis en faible quantité peuvent cependant avoir un rôle néfaste important. C'est le cas des hydro fluorocarbures

(HFC), perfluorocarbures (PFC), hexafluorures de soufre (SF_6) qui ont un fort pouvoir de réchauffement et en plus une longue durée de vie.

IV.2.4 Les gaz naturels : [33]

Les deux principaux gaz responsables de l'effet de serre de la Terre sont :

IV.2.4.1 La vapeur d'eau (H_2O):

Présente en très grande quantité, c'est le gaz qui a le plus d'importance sur l'effet de serre "naturel". Mais si l'on se limite à l'effet de serre d'origine humaine, que l'on appelle parfois effet de serre "additionnel", son influence sur le climat est négligeable.

IV.2.4.2 Le dioxyde de carbone ou gaz carbonique (CO_2) :

Le CO_2 est responsable d'environ 60% de l'effet de serre anthropique. Il y a bien sûr des émissions naturelles (la respiration des plantes ou des animaux, la putréfaction, les incendies naturels...). Le gaz carbonique venant des activités humaines provient pour l'essentiel de la combustion des énergies fossiles (charbon, pétrole, gaz), de certaines industries (production de ciment...), et pour une part non négligeable de la déforestation, notamment en zone tropicale. Actuellement, le développement de l'habitat et des transports contribue de plus en plus aux émissions de CO_2 .

Outre la vapeur d'eau et le gaz carbonique, les principaux gaz "naturels" à effet de serre sont :

IV.2.4.3 Le méthane (CH_4) :

Provoque environ 15% de l'effet de serre anthropique. C'est un gaz qui se forme dès qu'un composé organique (un animal, une plante) se décompose par fermentation ou putréfaction, particulièrement si cette décomposition se passe sans oxygène, par exemple au fond de l'eau ou sous terre. Une partie du méthane présent dans l'atmosphère est donc d'origine parfaitement naturelle, provenant notamment des zones humides (marécages, marais, etc). Mais aujourd'hui les activités humaines y ajoutent leur part : élevage intensif, cultures rizicoles, mise en décharge des déchets organiques, exploitations pétrolière et gazière...

IV.2.4.4 Le protoxyde d'azote ou oxyde nitreux (N_2O) :

Engendre environ 5% de l'effet de serre anthropique. Les activités qui produisent ce gaz sont relativement incertaines. Il est lié à l'utilisation d'engrais azoté dans l'agriculture ainsi qu'à

toute la chaîne de production industrielle de ces engrais. De même il est certainement produit par la plupart des procédés industriels qui utilisent ou produisent de l'azote.

IV.2.4.5 L'ozone (O_3) :

Molécule formée de trois atomes d'oxygène.

IV.2.5 Les gaz industriels :

A côté des gaz "naturels" à effet de serre, il en existe d'autres, "artificiels" : il s'agit de gaz industriels qui ne sont présents dans l'atmosphère qu'à cause de l'homme.

Les principaux gaz "industriels" à effet de serre sont les halocarbures et les gaz artificiels fluorés (HFC, PFC, SF6) entraînant environ 15% de l'effet de serre anthropique. Ils sont synthétiques et n'existent pas à l'état naturel. On les retrouve dans les systèmes de réfrigération et de climatisation (ils sont émis dans l'atmosphère par fuites ou mise en décharge des appareils), dans les aérosols (les célèbres CFC aujourd'hui réglementés), la fabrication de mousses isolantes, ou dans les applications électriques (transformateurs, ordinateurs, téléphones portables...).

Les halocarbures ont des durées de vie et un potentiel de réchauffement global extrêmement élevés.

Sur la figure suivante on remarquera les durées de vie très longues de quelques gaz industriels et naturels.

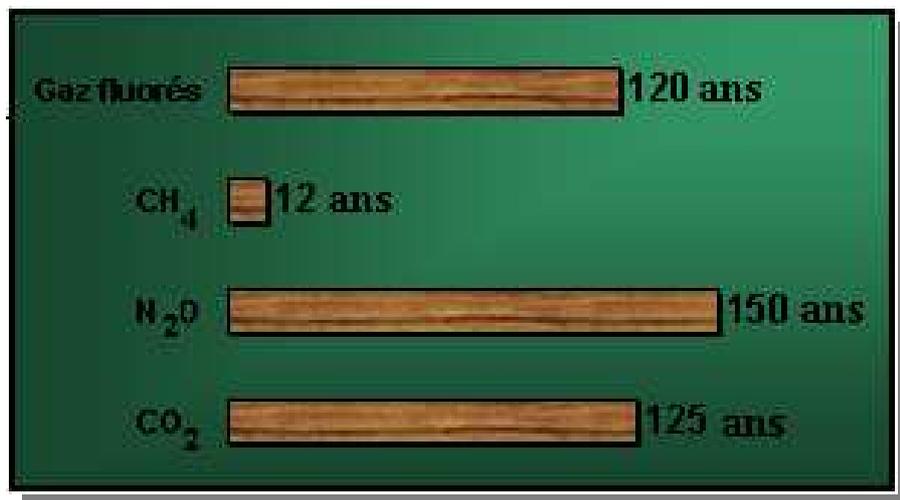


Figure IV-1: Durée de vie des gaz dans l'atmosphère

Source : GIEC [1]

Une famille particulière d'halocarbures, les CFC, est non seulement un gaz à effet de serre, mais aussi responsable de la destruction de l'ozone stratosphérique.

IV.3 Le bilan carbone

IV.3.1 Définition du bilan carbone :

Le bilan carbone est une méthode de comptabilisation des émissions de gaz à effet de serre pour permettre la connaissance de l'impact environnemental des activités. [30]

IV.3.2 Relation entre effet de serre et bilan carbone :

Les bilans des GES sont donc exprimés en tonne équivalent CO₂ (teqCO₂), le bilan carbone est exprimé en tonne équivalent Carbone (teqC) par une multiplication stœchiométrique de 12/44. (Une mole de CO₂= 44g et C = 12g).

Le carbone et le dioxyde de carbone deviennent donc des unités d'évaluation d'émissions de GES. C'est pour cela qu'on appelle cette méthode de calcul: « Le bilan carbone ».

Le gaz	CO ₂	CH ₄	NO ₂	HFC	PFC	SF ₆
Son pouvoir	1 (référence)	21	310	140 à 11700	6500 à 9200	23900

Tableau IV-1: Pouvoir de réchauffement global (PRG) des différents gaz à effet de serre.
Source : Encyclopédie Wikipédia. [42]

Chaque gaz à effet de serre possède un certain pouvoir radiatif. Cette capacité de rayonnement dépend de la qualité chimique du gaz et de sa durée de vie dans l'atmosphère. Pour établir une grille de comparaison, le dioxyde de carbone a été choisi comme étalon avec une valeur de 1.

IV.3.3 Principe de la méthode du bilan carbone :

Il n'est pas possible de mesurer les émissions des gaz à effet de serre comme les polluants atmosphériques par des stations de prélèvement. Ce qui se mesure, c'est la concentration en gaz à effet de serre dans l'air.

En période interglaciaire, dans les régions polaires, cette concentration était égale à 280 ppm (contre 200 ppm pendant les périodes glaciaires). Aujourd'hui, dans ces mêmes régions, il avoisine les 380 ppm.

Le bilan carbone passe en revue tous les flux physiques (flux de personnes, d'objets, d'énergie, de matières premières). A chaque donnée est attribué son équivalent d'émissions. [30] ; [34]

IV.3.4 Où trouve-t-on les gaz à effet de serre ? [34]

Aujourd'hui, toute activité humaine, quelle qu'elle soit, engendre directement des émissions de gaz à effet de serre, le principal gaz à effet de serre est : Le gaz carbonique.

Le gaz carbonique se dégage dans l'atmosphère dès que nous brûlons un produit contenant du carbone : du charbon, du pétrole, du gaz naturel, du bois...ou encore du plastique, qui n'est rien d'autre que du pétrole transformé. Nous allons donc trouver des émissions de gaz à effet de serre :

- dès que l'on utilise une source d'énergie "fossile" (charbon, gaz, produits pétroliers), que ce soit pour se déplacer (en avion, en voiture, ou en bateau) ou pour se chauffer.
- lorsque l'on incinère des ordures contenant du plastique,
- pour produire de l'électricité en partant de combustibles fossiles
- pour faire des matières premières (on utilise beaucoup d'énergie fossile pour produire de l'acier, du plastique, du verre, du ciment....)
- dans l'agriculture, à travers l'élevage de ruminants (boeufs, moutons, chèvres) et l'utilisation des engrais.

IV.3.5 Qu'est ce qu'un puits de carbone : [7]

L'activité humaine modifie le cycle de carbone en ajoutant 5,5 Gt carbone par an. Produit de la combustion, le gaz carbonique est un élément naturel qui possède une fonction importante dans la vie des plantes et la régulation des océans.

Les "puits de carbone" sont des procédés par lesquels on peut théoriquement contribuer à une épuration accélérée du gaz carbonique atmosphérique. En pratique, il s'agit d'essayer d'accélérer la croissance de la biomasse végétale, terrestre ou marine, laquelle, par la photosynthèse, soustrait du CO₂ de l'atmosphère.

Sont ainsi visées :

- la plantation d'arbres,
- la "fertilisation" de la surface océanique pour encourager la croissance du phytoplancton.

IV.3.6 L'Homme et les émissions de CO₂:

L'agriculture, l'industrie, les transports, l'habitat rejettent des centaines de millions de tonnes de gaz carbonique au travers de la combustion de pétrole, de charbon ou de gaz naturel, de méthane, de molécules fluorées qui s'ajoutent depuis le début de l'ère industrielle aux gaz déjà présents naturellement. Le "toit" gazeux se fait plus opaque, une proportion toujours plus

importante de rayons infrarouges est retenue dans l'atmosphère. Ainsi, la température augmente en grande partie du fait des activités humaines. (figure 2)

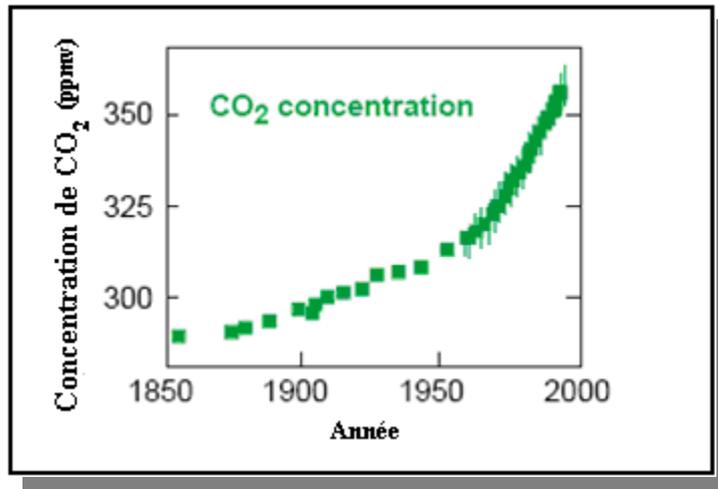


Figure IV-2: Concentration de CO₂ 1850-2000
Source: World Energy Technology Outlook 2050. [4]

IV.3.6.1 L'évolution des émissions de CO₂ par secteur :

Tous les secteurs d'activité contribuent aux émissions dans des proportions variables et la répartition par secteur est fonction de l'année considérée.

Les figures 3 et 4 nous montrent la répartition par secteur des émissions de CO₂ respectivement en 1971 et en 2004.¹

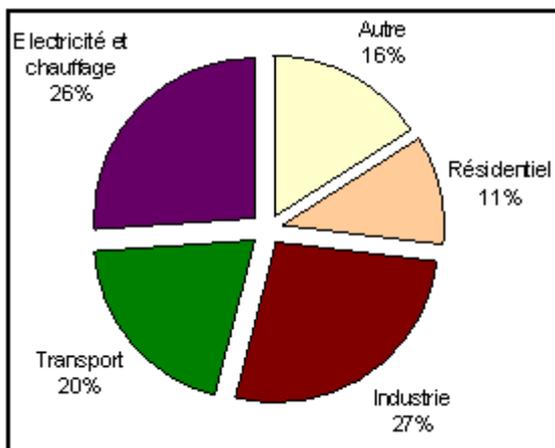


Figure IV-3: Emissions de CO₂ par secteur en 1971
Source : Agence Internationale de l'Energie[11]

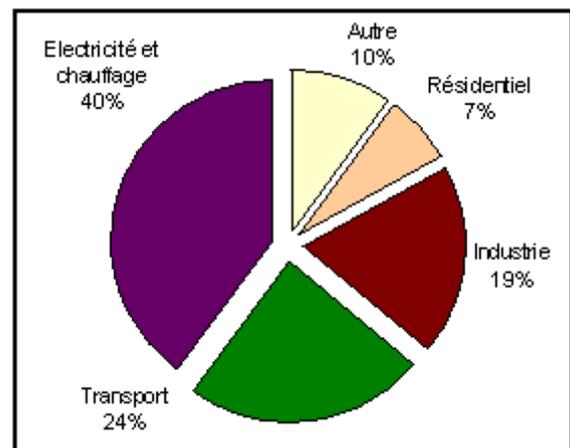


Figure IV-4 : Emissions de CO₂ par secteur en 2004
Source: Agence Internationale de l'Energie[11]

Nous remarquons bien que le pourcentage des émissions des secteurs « résidentiel », « industrie » et « autre » ont baissé au profit du secteur « transport » et notamment le secteur « électricité et chauffage » qui représentait 40% des émissions de CO₂ en 2004 contre 26% en 1971.

Mais il ne faut pas oublier que pendant cette même période, Les émissions de CO₂ sont passées de 14,1 Gigatonnes en 1971 à 26,6 Gigatonnes en 2004.

IV.3.6.2 Emissions de CO₂ par région :

La figure 5 ci-dessous, nous montre les dix pays les plus émetteurs de CO₂ dans le monde en 2004.

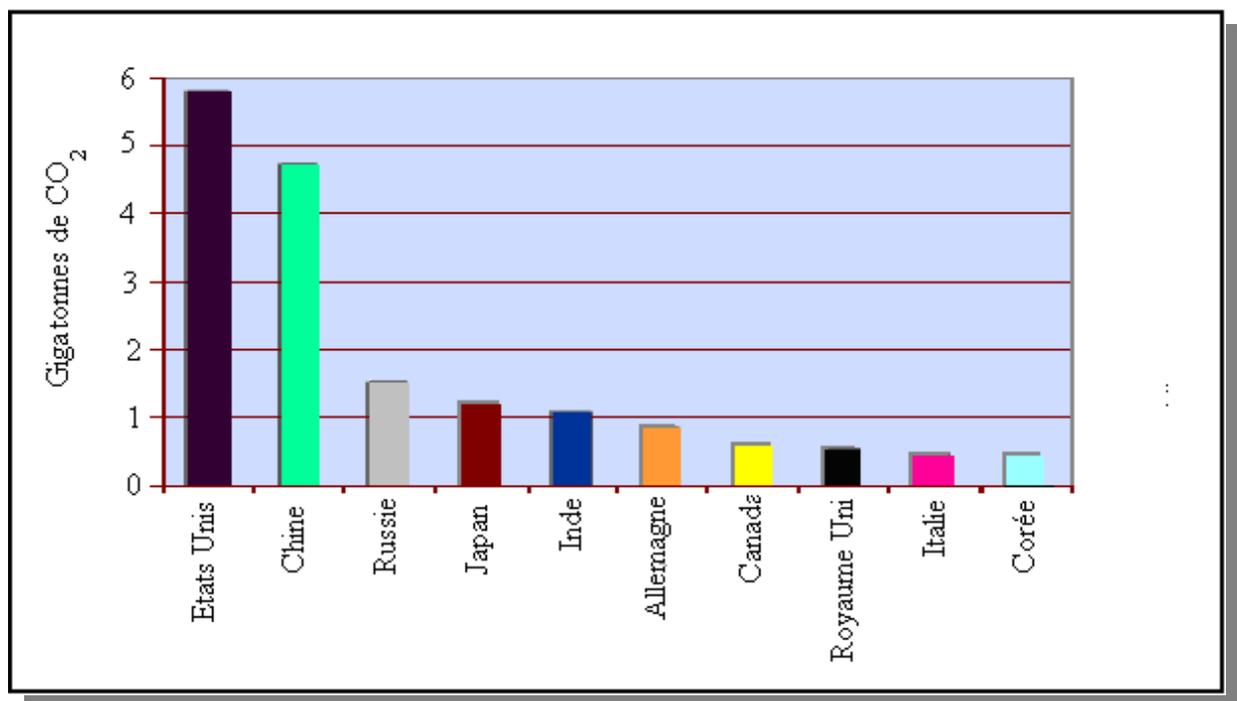


Figure IV-5: Top 10 des pays émetteurs d'énergie en 2004

Source : Agence Internationale de l'Energie [11]

En plus du fait que ces dix pays soient les plus émetteurs de CO₂ en 2004, leurs émissions totales de CO₂ représentent plus de 64% de l'émission de CO₂ dans notre planète.

Emissions et développement économique vont souvent de pair : ainsi dans les pays industrialisés un individu rejette jusqu'à 20 tonnes de CO₂ par an tandis que dans les pays en développement la moyenne se situe autour de 400 kg de CO₂ par an et par habitant.

Sur tous les pays du monde, 10 sont responsables de près des deux tiers de la dégradation environnementale due aux émissions exponentielles de CO₂.

IV.3.7 Points forts du bilan carbone :

- Le bilan carbone concrétise par une évaluation chiffrée l'impact de l'ensemble des activités du territoire : activités propres de la collectivité, activités industrielles et artisanales, transports, urbanisme ...
- La majeure partie des GES provient des combustibles fossiles (Gaz, Charbon, Pétrole). Connaître ses émissions de GES permet d'évaluer l'importance de la dépendance d'une activité à ces énergies fossiles, et par là même d'anticiper l'impact de chocs énergétiques inévitables à moyen terme.
- Il sensibilise la population face à cette problématique, résultat de leur consommation énergétique au titre leurs activités quotidiennes.
- Définit des priorités d'action pour son propre fonctionnement tout en montrant l'exemple aux autres acteurs de son territoire.
- Donne à réfléchir à des stratégies de développement d'énergie moins polluantes, en faisant prendre conscience de la vulnérabilité de la terre par rapport à l'utilisation de carburants beaucoup trop pollués.

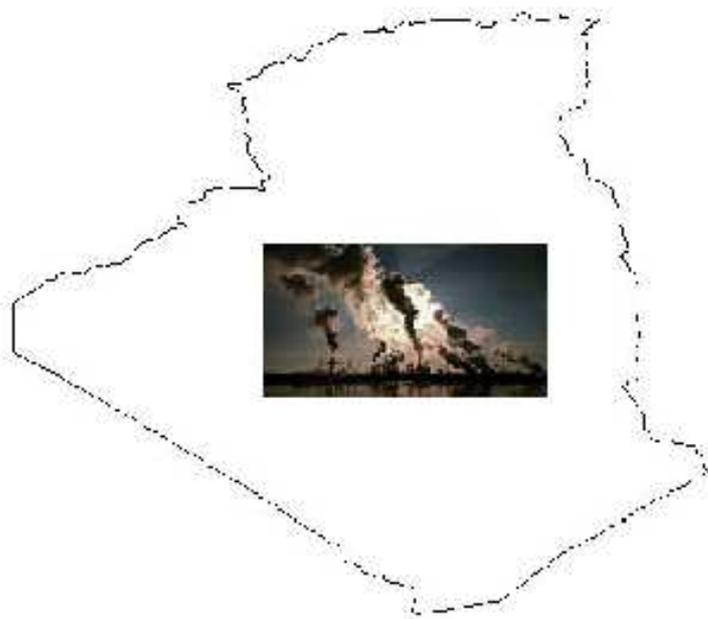
La concentration de CO₂ dans l'atmosphère est un facteur clef contrôlant le changement climatique du 21^{ème} siècle.

Nous constatons à travers ce chapitre que l'augmentation exponentielle de la concentration de gaz à effet de serre est une conséquence de l'activité humaine.

Les Hommes, en plus de rejeter plus de CO₂ que ne peut en absorber la planète, émettent des gaz toxiques qui mettent plus de 150 ans à être digérés par la Terre. Nous sommes entrain de payer le développement au prix de la bonne santé de notre planète.

Chapitre V :

Méthodes de calcul et applications



L'impact de l'Homme sur l'environnement peut être évalué aussi bien par le « *bilan carbone* » que par « *l'empreinte écologique* ».

Le premier privilégie l'approche environnementale, alors que la seconde repose sur l'approche écologique.

Nous proposons dans ce chapitre de présenter une méthode de calcul pour mesurer le degré de pollution induit par la consommation d'énergie, aussi bien pour une personne, que pour une institution ou un état.

V.2. Principes de base pour les calculs :

En partant de l'hypothèse que 1 hectare global absorbe 1,85 tonnes équivalent CO₂⁶, il devient aisé, pour les entités étudiées ci dessous, de passer du bilan carbone à l'empreinte écologique et vice versa.

Comme l'essentiel de la démarche est basé sur des facteurs d'émission moyens, ces mesures de calculs ont pour vocation première de fournir des ordres de grandeur, lesquels peuvent servir à tirer des conclusions pratiques, indispensables si l'on souhaite conduire des actions d'amélioration. En effet, bien souvent, les quelques postes faciles à estimer seront prépondérants dans le bilan global.

V.3 Mesure pour le cas individuel:

V.3.1. Problématique générale :

Chaque être humain doit se nourrir, se loger et se déplacer. Il est donc nécessaire d'estimer l'impact de chacun.

V.3.2 Méthodologie :

Les trois activités, qui font partie du quotidien de chaque individu, sont: le transport, l'habitat, et l'alimentation. Ce sont ces trois éléments qui vont nous permettre d'établir notre bilan carbone, de calculer nos émissions de CO₂ et de définir notre empreinte et déficit écologiques.

V.3.2.1 Le transport :

Il est évident que l'impact sur l'environnement change selon que l'on se déplace à pied, en bus ou en voiture. Et cet impact est encore bien plus important lorsqu'on se déplace en avion. D'ailleurs, chaque fois qu'on passe 10 h en avion, il faut 0,5 hectares de forêts et un an pour "digérer" la pollution⁷.

V.3.2.2 L'habitat :

L'habitat englobe l'eau, le chauffage et l'électricité. Le chauffage et l'électricité parce qu'ils contribuent en grande partie dans les émissions de gaz à effet de gaz du secteur résidentiel.

⁶ : Voir annexe III ; facteurs de conversion.

⁷ : Données de la revue Passerelle Eco [24]

Les eaux usées émettent du méthane, qui est l'un des gaz à effet de serre retenus dans le cadre du protocole de Kyoto, par suite de la décomposition anaérobie des déchets organiques qu'elle contient. C'est pour cela que l'eau est prise en compte dans le calcul de l'empreinte écologique.

V.3.2.3 L'alimentation :

Les produits importés sont les plus émetteurs de CO₂ dans l'alimentation. En effet, pour une tonne d'aliments transportée sur un kilomètre, un bateau émet entre 15 et 30 grammes de CO₂, un camion entre 200 et 450 grammes (plus si c'est un camion réfrigéré) et un avion entre 500 et 1 600 grammes⁸.

Également pour la viande, dont la consommation encourage les émissions de gaz à effet de serre, il faut savoir qu'un hectare de terre cultivée pendant un an peut donner en moyenne 7 fois plus de calories sous forme de nourriture végétale que sous forme de viande (animale). Il faut donc sept fois moins de surface pour un végétarien que pour un consommateur de viande.

Ce qui est comptabilisé dans « l'alimentation » c'est le « *cycle de vie* » des aliments avant qu'ils n'arrivent dans nos assiettes, et qui contribue aux émissions de CO₂ (en raison de l'utilisation des engrais, de la digestion des animaux d'élevage et de leurs déjections, de l'emballage...). C'est pour ces raisons que l'on considère que la consommation de viande émet plus de CO₂ que celle des autres aliments.

V.3.3 Résultats :

Pour illustrer nos précédents développements, nous prenons deux exemples : celui concernant une personne écologique, et un autre relatif à une personne non-écologique, qui ne s'intéresse pas à l'environnement et au bien être de la Terre.

V.3.3.1 Personne écologique : En partant du postulat que les gestes au quotidien d'une telle personne se traduisent comme suit :

Transport: en bus (10km/ jour)

Voyage en bateau (impact négligeable par rapport à l'avion)

Habitat: vit dans un appartement, avec peu d'appareils électriques, et veille à économiser l'électricité.

Prend des douches plutôt que des bains, et veille à économiser l'eau.

Alimentation: végétarienne, n'achète que des produits locaux, et en quantité raisonnable sans générer de déchets.

⁸ : Données du magazine « *le figaro* » [41]

Son empreinte écologique, ses émissions de CO₂ et son bilan carbone seraient les suivants :

	Empreinte écologique (gha)	Bilan carbone (Teq. C)	Emissions de CO ₂ (Teq. CO ₂)
Transport	0,14	0,07	0,26
Habitat	0,38	0,19	0,70
Alimentation	0,60	0,30	1,11
Total	1,12	0,56	2,07

Tableau V-1: Empreinte écologique, bilan carbone et émissions de CO₂ pour une personne écologique.

Si tous les habitants de la Terre avaient un modèle de consommation et un comportement identiques, et si les activités de l'humanité se résumaient à celles citées ci-dessus, il ne faudrait que **0,62** planète -Terre pour subvenir aux besoins de toute l'humanité.

V.3.3.2 Personne non écologique : là, au contraire, la santé de la Terre ne fait pas partie des préoccupations de cette catégorie de personnes. Ses gestes au quotidien sont plutôt comme suit:

Transport : en voiture (10km/ jour)

Voyage en avion (4heures par an)

Habitat : utilise beaucoup d'appareils électriques, et laisse souvent les appareils en veille

Prend plutôt des bains que des douches, et ne se soucie pas d'économiser l'eau.

Alimentation : grand consommateur de viande, achète souvent des produits emballés, en grande quantité.

Son empreinte écologique, ses émissions de CO₂ et son bilan carbone seraient les suivants:

	Empreinte écologique (gha)	Bilan carbone (Teq C)	Emissions de CO ₂ (Teq CO ₂)
Transport	0,58	0,29	1,07
Habitat	1,59	0,80	2,94
Alimentation	1,60	1,80	2,96
Total	3,77	2,89	6,97

Tableau V-2: Empreinte écologique, bilan carbone et émissions de CO₂ pour une personne non-écologique.

Si tous les habitants de la Terre avaient un modèle de consommation et un comportement identiques, et si les activités de l'humanité se résumaient à celles citées ci-dessus, il faudrait **2,09** planètes -Terre pour subvenir aux besoins de toute l'humanité.

V.3.4 Analyse des résultats :

On déduit de ces deux résultats, que le changement des attitudes doit commencer chez soi, et également que par des gestes simples (comme veiller à économiser l'eau ou ne pas laisser les appareils électriques en veille) on peut réduire considérablement non seulement votre impact sur l'environnement mais aussi les factures d'électricité, du gaz et d'eau.

L'on comprend également que si nous nous conduisons à l'image d'une personne écologique, nous laisserons aux futures générations une Terre à même de remplir ses fonctions et où il est possible d'évoluer normalement.

Alors que si, au contraire, nous adoptons le modèle de consommation d'une personne non-écologique, sachant que nous n'avons qu'une seule Terre, et qu'elle ne peut produire et recycler que selon ses capacités, notre « *auto destruction* » serait inéluctable.

V.4 Mesure pour une institution:

V.4.1. Problématique générale : [30]

La mesure des émissions de gaz à effet de serre est bien plus délicate dans le cas d'une institution, que pour une personne.

Certains organismes comme l'ADEME⁹ proposent trois approches différentes qui permettront d'aboutir à différents constats, selon ce qui est pris en compte.

V.4.1.1 L'Approche "interne":

Cette approche ne comptabilise que les émissions que l'on engendre à partir de sources fixes. Quoi que cela conduise généralement à ne comptabiliser qu'une petite partie des émissions liées à la mise à disposition du consommateur, ou de l'utilisateur, d'un produit ou d'un service.

Dans ce cas, qui concerne essentiellement l'utilisation directe de l'énergie fossile, on comptabilisera uniquement :

- La combustion en interne (procédés industriels, chauffage des locaux).

⁹ : ADEME : Agence française De l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie

- Les émissions non liées à une combustion (évaporations, réactions chimiques autres que la combustion) qui ont lieu au sein de l'activité concernée.
- Les émissions liées à la production de l'électricité ne sont prises en compte que si l'entreprise produit son électricité sur place en brûlant du charbon, du gaz, ou du pétrole. On peut déboucher sur des résultats trompeurs si l'entreprise achète son électricité.

V.4.1.2 *L'approche "émissions intermédiaires"*

Dans le cadre de cette approche, on peut décider de prendre une assiette plus large et d'inclure des émissions qui correspondent à une partie des processus externes à l'activité, mais qui sont nécessaires pour permettre à l'activité d'exister sous sa forme actuelle.

De ce fait, on prendra en compte :

- Les combustibles utilisés à l'intérieur de l'activité (procédés industriels, chauffage des locaux).
- Les émissions internes non liées à une combustion (évaporations et fuites, et réactions chimiques autres que la combustion) qui ont lieu au sein de l'activité concernée.
- Les émissions correspondant aux achats d'électricité et de vapeur (émissions qui auront donc lieu au sein du périmètre interne des "producteurs d'énergie").
- Les émissions liées aux déplacements des salariés dans le cadre du travail.
- Les émissions liées aux déplacements des salariés de leurs domiciles à leurs lieux de travail.
- Les déplacements vers les clients, ou, comme dans le cadre d'une activité de vente aux particuliers, les déplacements des clients jusqu'au magasin (poste significatif pour les grandes surfaces commerciales en banlieue par exemple).

V.4.1.3 *L'approche "globale":*

Cette approche permet de connaître la pression totale que l'on exerce sur son environnement en matière de gaz à effet de serre.

Si de l'acier est nécessaire pour faire des produits, il a bien fallu le fabriquer : le besoin d'acier où qu'il soit, se traduit par des émissions chez un aciériste, et il serait légitime d'en tenir compte. La marge de manoeuvre associée sera alors, éventuellement, de choisir un autre matériau dont la fabrication est moins "riche" en gaz à effet de serre, ou de diminuer les consommations matières.

Dans cette logique du périmètre global, on tient alors compte des postes suivants :

- La combustion en interne (procédés industriels, chauffage des locaux),
- Les émissions internes non liées à une combustion (évaporations et fuites, et réactions chimiques autres que la combustion) qui ont lieu au sein de l'activité concernée.
- Les émissions correspondant à la fourniture d'électricité,
- Les émissions liées aux déplacements des salariés pendant les horaires de travail.
- Les émissions liées aux déplacements des salariés de leurs domiciles à leurs lieux de travail.
- Les déplacements vers les clients, ou, comme pour une activité de vente aux particuliers, les déplacements des clients jusqu'au magasin.
- La fabrication des matériaux incorporés dans votre production (y compris ce qui sert aux emballages).
- La construction du bâtiment que vous occupez, même si vous êtes locataire.
- La construction des machines utilisées, le cas échéant.
- Le traitement des déchets produits directement (ce qui est dans la poubelle de l'activité) ou indirectement (les emballages, qui sont des déchets futurs par nature).

V.4.2. Méthodologie :

A défaut de données pour une approche globale, nous avons optés pour ce cas précis « institution » pour l'approche intermédiaire.

S'agissant d'une institution, les émissions de CO₂ liées au transport, au chauffage et à la consommation d'électricité représentent environ 80% des émissions totales (le reste étant les eaux usées, les déchets...)

V.4.3 Résultats :

Cet impact global se compose des émissions qui proviennent directement de l'entité et des émissions qui prennent place ailleurs, mais qui sont liées à des processus nécessaires à l'activité. Il en va notamment des émissions engendrées par les transports consommés par l'activité.

Prenons comme exemple le département Génie chimique de l'Ecole Nationale Polytechnique¹⁰ dont les données sont les suivantes :

Chauffage : 2880 heures/ an (Le département est chauffé au gaz naturel)

La consommation d'électricité : 44 ,25 MW/an

¹⁰ : Voir annexe III ; Données concernant le département Génie Chimique.

Transport : 20 véhicules (entre les professeurs, les étudiants et les chercheurs), soit en moyenne 20 km par jour et par véhicule (8 litres au cent), à raison de 200 jours /an.

Les résultats sectoriels sont : (*tableau 3*)

Secteur	Empreinte écologique (gha)	Emissions CO ₂ (Teq CO ₂)	Bilan carbone (Teq C)
Chauffage	0,65	1,20	0,32
Electricité	7,17	13,27	3,61
Transport	6,48	11,98	3,26

Tableau V-3: Empreinte écologique, bilan carbone et émissions de CO₂ par secteur, pour le département Génie Chimique de l'ENP.

En admettant que ces éléments représentent 80% des émissions totales du département, on obtient :

Département Génie Chimique	
Empreinte écologique (gha)	17,89
Émissions CO ₂ (Teq CO ₂)	33,10
Bilan carbone (Teq C)	9,00

Tableau V-4: Empreinte écologique, bilan carbone et émissions de CO₂ globaux pour le département Génie Chimique de l'ENP.

V.4.4 Commentaire des résultats :

Il apparaît bien que les deux postes prépondérants au département sont le transport et l'électricité. Toutefois, on peut considérer que la consommation énergétique au département Génie Chimique de l'ENP est quasi exemplaire, puisqu'elle-ci équivaut à la consommation de dix algériens, trois français ou encore un français plus un américain.

Mais il ne faut pas perdre de vue que ces résultats reflètent l'impact relatif au département seulement, plusieurs activités ne sont pas prises en compte (par exemple l'alimentation, les déplacements en dehors du département...).

V.5 Mesure pour l'Algérie:

V.5.1 Problématique générale :

Pour cette mesure, il est essentiel de disposer de données de la consommation énergétique (par secteur dans notre cas) ainsi que des données sur l'évolution de la population, pour pouvoir déterminer l'empreinte écologique, les émissions de CO₂ et le bilan carbone relatifs au pays, mais aussi par habitant.

V.5.2 Méthodologie :

V.5.2.1 Évolution de la consommation énergétique :

Depuis 1980, l'Algérie a connu une nette augmentation de la consommation énergétique résultant essentiellement de l'accroissement du secteur « ménages et autres » comme illustré sur la *figure 1*.

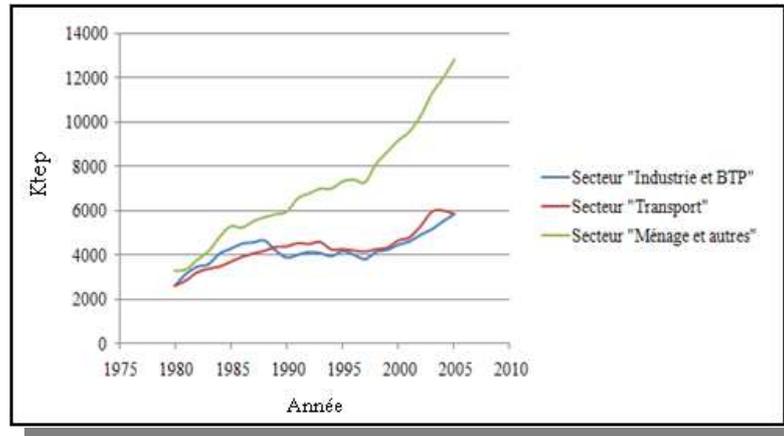


Figure V.1 : Évolution de la consommation énergétique par secteur en Algérie 1980-2005
Source : Rapport annuel du Ministère de l'énergie et des mines. [35]

L'évolution du niveau de vie s'accompagne d'une augmentation de la consommation énergétique. En effet ; au début des années 80, le prix du pétrole a quadruplé, s'en est suivi la fin des pénuries et la mise sur le marché de biens de consommations, notamment les produits électroménagers dont se sont emparés la plupart des ménages.

V.5.2.2 Évolution de la population en Algérie : [39]

On estime que la population algérienne est passée de 8 millions d'habitants en 1954 à près de 33 millions en 2005, soit que celle-ci a quadruplé en cinquante ans. L'évolution de la population entre 1980 et 2005 est illustrée sur la *figure 2*.

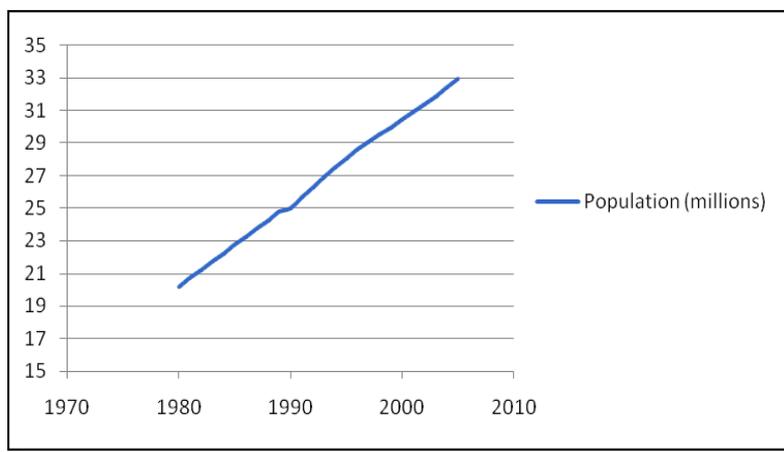


Figure V.2 : Évolution de la population en Algérie 1980-2005
Source : Office Nationale des Statistiques [39]

V.5.3 Résultats et analyse:

V.5.3.1 Évolution des émissions de CO₂ en Algérie:

Partant des données mentionnées ci-dessus, relatives à la consommation énergétique de l'Algérie entre 1980 et 2005; ainsi que celles relatives à l'évolution de la population durant cette même période, nous pouvons aisément évaluer l'évolution des émissions de CO₂ en Algérie.

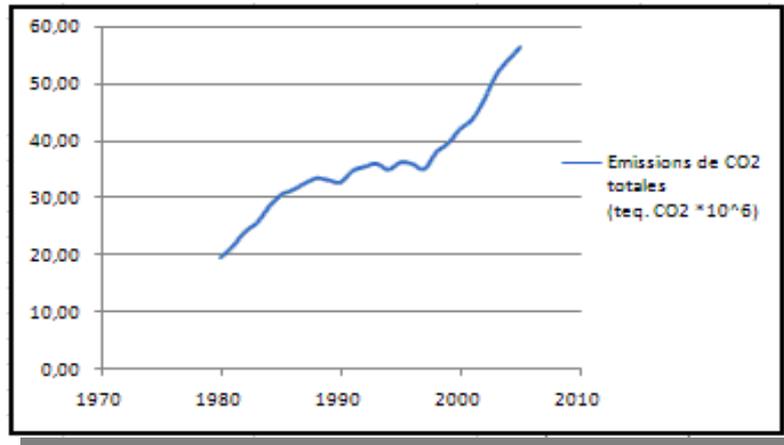


Figure V.3 : Evolution des émissions CO₂ totales en Algérie 1980-2005

Les émissions de CO₂ sont parfaitement proportionnelles à la consommation, ce qui explique cette augmentation depuis les années 1980.

Mais il n'y a pas que la consommation énergétique qui a connu cet accroissement. En effet, la consommation individuelle a aussi évolué durant cette même période, passant de 0,5 à 0,91 gha/personne. La population devient donc de plus en plus énergétivore.

V.5.3.2 Empreinte écologique de l'Algérie en 2005¹¹ :

L'empreinte énergétique de l'Algérie était de 0,9 hectares/personne en 2005. L'histogramme (figure 4) ci-dessous, nous illustre la part de chaque secteur dans l'empreinte énergétique totale en Algérie.

¹¹ : Selon les dernières données disponibles.

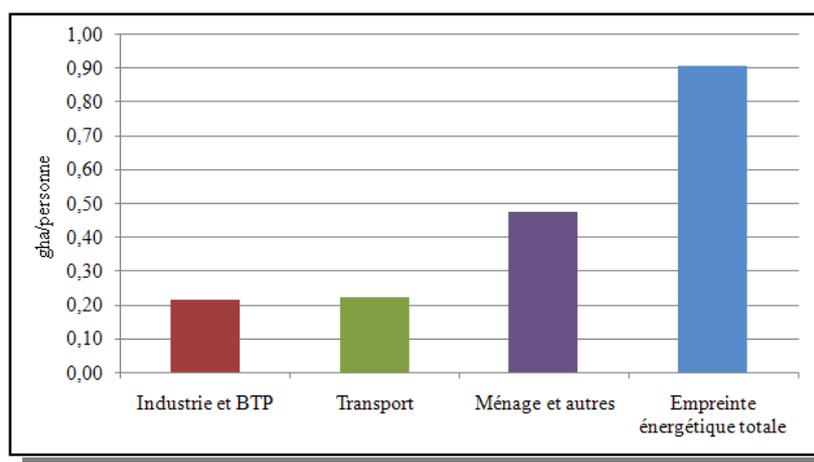


Figure V.4 : Histogramme de l'empreinte énergétique en Algérie par secteur 2003:

On remarque que le secteur « ménages et autres » est celui dont l'empreinte est la plus importante, ce qui est logique puisque l'empreinte énergétique est proportionnelle à la consommation.

Il est important de noter aussi que le « secteur industrie et BTP » représente moins de 25% de l'empreinte énergétique totale. Autrement dit « Nous ne faisons que consommer de l'énergie, sans créer de richesses »

V.5.3.3 Déficit écologique de l'Algérie en 2005:

L'Algérie étant un pays à revenu moyen¹², son empreinte énergétique représente en moyenne 49% de l'empreinte écologique globale.

Alors que l'empreinte écologique de l'Algérie était de 1,83 gha/per en 2005, la biocapacité ne représentait que 0,7 gha/per, ce qui veut dire que le déficit écologique du pays est énorme (1,13 gha/per), l'histogramme (*figure5*) ci-dessous, l'illustre parfaitement.

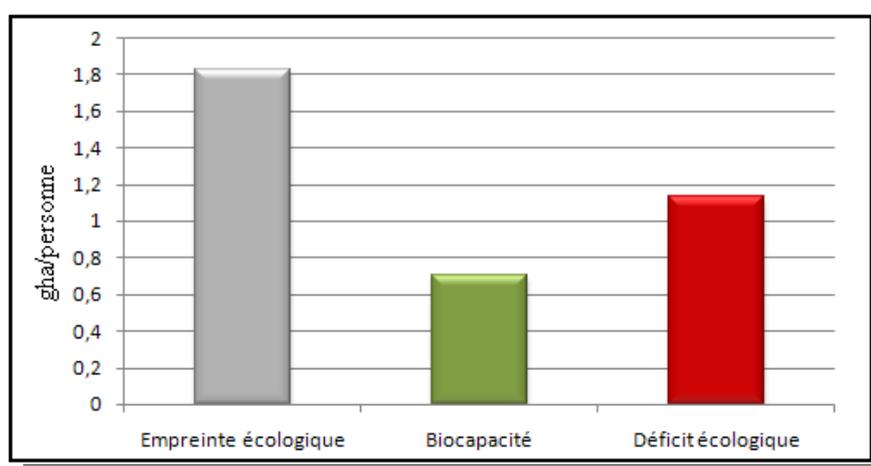


Figure V.5 : Histogramme de la biocapacité, de l'empreinte et du déficit écologique de l'Algérie en 2005

¹² :Voir annexe 3 ; classement des pays selon revenu.

Si tous les pays avaient l’empreinte écologique de l’Algérie, il faudrait **1,01** planètes Terre pour survivre. Par contre, Si tous les pays avaient le déficit écologique de l’Algérie, il faudrait alors **1,62** planètes Terre pour survivre.

Nous sommes peut être loin des 5 planètes -Terre nécessaires aux américains ou des 3 planètes -Terre nécessaires aux français, mais nous restons un pays créditeur écologique, et nous épuisons de plus en plus notre capital écologique.

L'augmentation du niveau de vie de la population et du confort qui en découle, s'accompagne d'une consommation énergétique accrue.

Il devient nécessaire de faire de l'écologie une priorité mondiale, étatique et même individuelle, si nous voulons garder une terre vivable pour les générations à venir parce que le stock naturel de la planète en général, de l'Algérie en particulier, est en voie d'épuisement et nous ne pourrions pas compter sur des ressources limitées indéfiniment.

Conclusion

On ne peut parler avec certitude de développement durable sans recourir à des données chiffrées ; or décrire en chiffres la complexité de nos comportements n'est pas chose aisée. Ceci étant, *le bilan carbone* et *l'empreinte écologique* traduisent globalement en chiffres le danger qui menace la planète.

En effet, ces deux concepts mettent en exergue la responsabilité de l'homme dans la dégradation de l'environnement, et nous donnent un bon éclairage quand à l'origine de cette dégradation.

Dans un proche avenir, il sera impératif de s'adapter afin de limiter le phénomène du réchauffement pour moins le subir.

Le scénario catastrophe qui se profile à l'horizon impose des changements urgents et radicaux car les comportements sont beaucoup plus longs à changer que l'opinion, très volatile et sensible aux peurs et/ou aux dangers induits par ce phénomène. **Le réchauffement climatique n'attend pas.**

Fort heureusement, le phénomène des changements climatiques de notre planète est devenu une des priorités des préoccupations de ce monde et de nouveaux concepts commencent à s'imposer :

☞ « Il est nécessaire et possible de vivre aussi bien, sinon mieux en consommant moins, beaucoup moins » ;

☞ « il est indispensable d'agir rapidement et efficacement face à ce danger planétaire » ;

☞ « il est urgent d'exploiter rationnellement les progrès technologique et repenser nos organisations » ;

☞ « il est nécessaire de choisir et d'accompagner le changement plutôt que d'être brutalement rappeler à l'ordre par les crises internationales, la géologie pétrolière et le changement climatique ».

Le logiciel conçu nous permet de donner les tendances de l'empreinte écologique et du bilan carbone d'une personne ou d'une institution. Ce logiciel donne des résultats très cohérents avec les résultats obtenus en utilisant les logiciels existants.

Annexe I :

Définitions

- A -

- **Activité** : Terme utilisé pour décrire les principaux facteurs de consommation d'énergie dans un secteur.

- B -

- **Baril (bl)** : Unité de mesure surtout utilisée de nos jours pour le pétrole brut et ses dérivés. Un baril de pétrole équivaut à 159 litres

- C -

- **Carburant**: Un carburant est un combustible qui alimente un moteur thermique. Celui-ci transforme l'énergie chimique du carburant en énergie mécanique.
- **Choc pétrolier** : Un choc économique provoqué par une modification brutale de l'offre de pétrole, combinant hausse du prix et baisse de la production. Premier choc pétrolier 1973 (guerre du Kippour) ; Deuxième choc pétrolier 1979 (la révolution iranienne).
- **Consommation énergétique par habitant** : C'est la quantité d'énergie-liquide, solide, gazeuse ou électrique- consommée par habitant pour une année et une zone géographique donnée.
- **Cycle de vie** : Le cycle de vie) est la période de temps pendant laquelle se déroule la vie complète d'un organisme vivant par reproduction.

- D -

- **Développement durable** : Défini comme « *Une forme de développement soutenable qui répond aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures à pourvoir à leurs propres besoins* », Le développement durable est un concept-cadre, dans lequel se retrouvent une recherche d'équité intergénérationnelle, une recherche d'équité spatiale et une recherche de préservation des ressources et d'exploitation optimale du milieu.
- **Distance parcourue** : Nombre estimatif de kilomètres (km) parcourus par un véhicule au cours d'une période donnée.

- E -

- **Energie** : Energie provient du mot grec 'ENERGIA' traduisant la capacité ou la puissance physique d'un corps ou d'un système donné lui permettant d'exprimer une « force en action ».
- **Energie finale** : C'est l'énergie obtenue après transformation d'une énergie primaire ; Par exemple, l'électricité produite par une centrale thermique à partir du charbon.
- **Energie primaire** : C'est l'énergie obtenue directement à partir d'une ressource naturelle, utilisable après transformation. Dans cette catégorie on trouve les énergies renouvelables et les énergies non renouvelables.

- **Energie utile** : C'est l'énergie servant effectivement à l'usage du consommateur (chaleur, lumière...) celle-ci ne représente que 40% (au maximum) de l'énergie finale.

- G -

- **Gaz à Effet de Serre (GES)** : Voir chapitre IV.
- **Gigatonne équivalent pétrole (Gtep)** : Unité d'énergie, correspondant à 10^9 tonnes équivalent pétrole.
- **Groupe International d'Experts sur le Climat (GIEC)** : Une organisation, mise en place en 1988, dont le rôle est « d'expertiser l'information scientifique, technique et socio-économique qui concerne le risque de changement climatique provoqué par l'homme ».

- H -

- **Hectare** : Unité de mesure de surface. Un hectare équivaut à 10 000 m².
- **Hectare global**: L'empreinte écologique et la biocapacité s'expriment tous deux dans la même unité de surface: l'hectare global (gha). L'hectare global est une surface d'un hectare dont la productivité est identique à la productivité moyenne d'un hectare dans le monde. En d'autres termes, l'hectare global permet d'universaliser le système métrique.
- **Humus** : Le mot « humus » désigne la couche supérieure du sol créée et entretenue par la décomposition de la matière organique, essentiellement par l'action combinée des insectes, des bactéries et des champignons du sol.

- K -

- **Kilotonne équivalent pétrole (Ktep)** : Unité d'énergie, correspondant à 10^3 tonnes équivalent pétrole
- **Kilowattheure (kWh)** : Unité d'énergie électrique commerciale établie à 1 000 wattheures. Un kilowattheure est la quantité d'électricité consommée par 10 ampoules de 100 watts pendant une heure. Un kilowattheure égale 3,6 millions de joules.

- M -

- **Mégatonne équivalent pétrole (Mtep)** : Unité d'énergie, correspondant à 10^6 tonnes équivalent pétrole
- **Mégawattheures (MWh)**: Unité de mesure d'énergie. Un mégawattheure équivaut à 10^6 wattheures
- **Méthaniers** : bateaux transportant le gaz naturel sous forme liquide.

- O -

- **Organisation de Coopération et de Développement Economiques (OCDE)** : Organisation internationale de pays développés, qui ont en commun un système de gouvernement démocratique et une économie de marché.

- P -

▪ **Protocole de Kyoto :** Traité international proposant un calendrier de réduction des émissions de gaz à effet de serre, considérés comme une cause probante du réchauffement planétaire. Il a été négocié à Kyoto, au Japon. Ouvert aux signatures le 16 mars 1998 et arrêté le 15 mars 1999.

- R -

▪ **Révolution industrielle :** La révolution industrielle est un processus qui bouleverse les techniques de production : on passe d'un système artisanal, manuel, de production, dans des lieux dispersés, à une production recourant de plus en plus à une énergie provenant de machines, production en grandes séries, centralisée, utilisant des normes ou standards afin d'obtenir des produits d'une qualité homogène. ...

- S -

▪ **Secteur :** Catégorie générale pour laquelle on étudie la consommation d'énergie (p. ex., secteurs résidentiel, industriel, des transports, agricole...).

▪ **Sommets de la Terre :** Des rencontres entre dirigeants mondiaux ayant lieu tous les dix ans. Elles constituent une occasion pour se pencher sur l'état de l'environnement de la planète, et pour définir les moyens de stimuler le développement durable au niveau mondial.

▪ **Source d'énergie:** Toute substance qui fournit de la chaleur ou de la puissance (p. ex., pétrole, gaz naturel, charbon, énergie renouvelable et électricité).

- T -

▪ **Térawattheures (TWh):** Unité de mesure d'énergie. Une térawattheure équivaut à 10^{12} wattheures.

▪ **Tonne :** Unité de mesure de masse. Une tonne équivaut à 1000 kilogrammes.

▪ **Tonne Équivalent Pétrole (TEP) :** Le TEP est unité d'énergie, correspondant à l'utilisation de 1 tonne de pétrole, utilisée pour exprimer la production ou la consommation d'énergie d'un pays. Du fait du rôle majeur que joue le pétrole dans l'économie mondiale, pour mesurer les besoins en énergie des différentes nations, les économistes et les hommes politiques principalement, utilisent la tonne équivalent pétrole comme unité d'énergie. Cela correspond à une énergie de 41,85 milliards de joules, soit 11 626 kilowattheures.

Annexe II :

Pertinences

I. Réserves des formes d'énergie dans le monde : [1] ; [17].

I. 1 Les réserves de pétrole :

Un des moyens pour estimer le potentiel (la réserve) d'un champ n'est disponible que relativement tardivement dans le processus d'extraction, lors de la production le pétrole atteint un pic quand environ la moitié de son pétrole a été extraite, et décline ensuite, c'est ce qu'on appelle le « peak oil ». Lorsqu'il est évident que le déclin est entamé, vous pouvez simplement prendre la quantité extraite jusqu'au pic et la doubler pour obtenir approximativement la quantité initialement contenue dans le champ.

Pays	Gt	%
Amérique du Nord	27.6	16,7
Amérique Latine	15.2	9,2
Proche-Orient	93.5	56,5
Arabie Saoudite	35.7	21,6
Irak	15.3	9,3
Iran	12.2	7,4
Koweït	13.2	8
Extrême Orient – Océanie	5.3	3,2
Afrique	10.6	6,4
Europe Occidentale	2.5	1,5
Europe Orientale	10.8	6,5
MONDE	165.5	100

Pourquoi surévaluer les réserves de pétrole ?

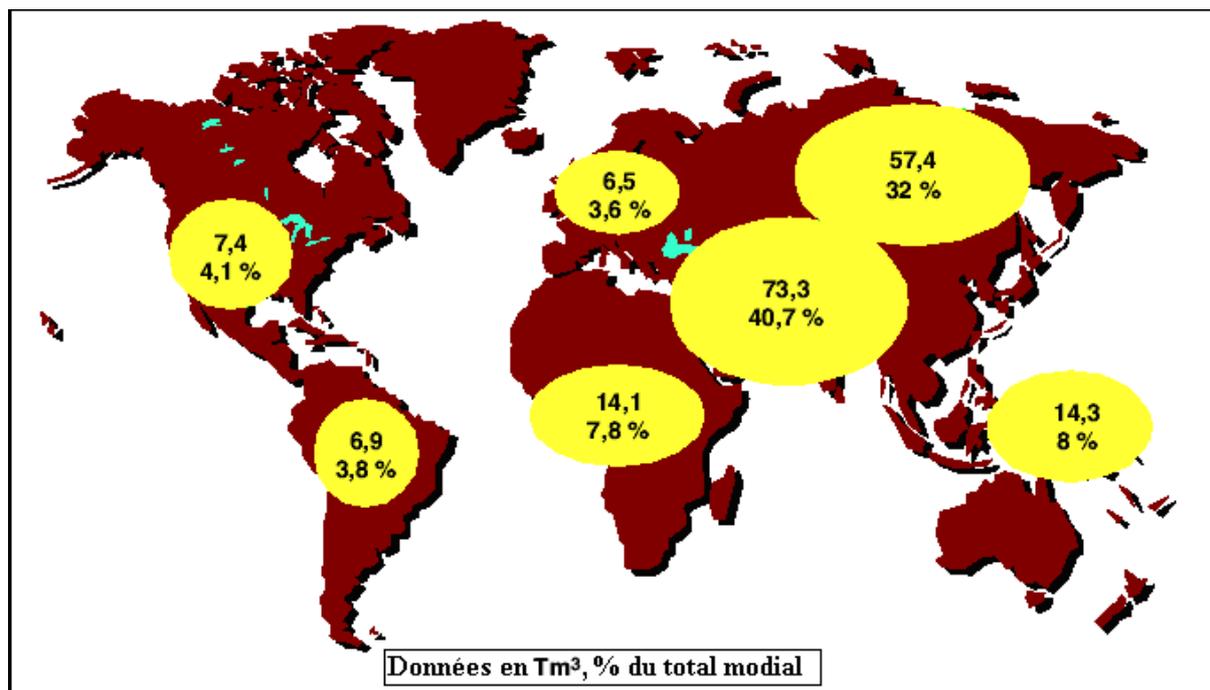
On a souvent tendance à surévaluer les réserves de pétrole ; et ceci n'est pas le fruit d'erreurs, mais de plans stratégiques et qui sont :

- Pour un pays producteur, il s'agirait d'attirer les investisseurs pour construire des infrastructures d'extraction et de transport coûteuses ;
- Pour un pays consommateur, il s'agirait de forcer les producteurs à maintenir un prix bas en agitant la menace d'aller se fournir ailleurs ;
- Pour les compagnies pétrolières, il s'agirait de rassurer leurs investisseurs sur leur valeur à terme, -et de négocier à bas prix les achats de gisements.

I. 2 Les réserves de gaz naturel :

En 2005, les réserves mondiales de gaz s'élevaient à 180 Tm³ (1012 m²), soit 162 Gtep environ, alors qu'en 1975, elles ne s'élevaient qu'à 60 Tm³. Les réserves actuelles ont une durée de vie de 59 ans. Elles restent très concentrées puisque trois pays en possèdent plus de la moitié : en effet la Russie, l'Iran et le Qatar détiennent respectivement 26, 15 et 14 % du

total. Vent ensuite ; par ordre décroissant : l'Afrique (7.4%), l'Asie (5.6%), Amérique du Nord (4.9%) et enfin l'Europe (3.5%).



Depuis 2000, les réserves mondiales de gaz ont augmenté de 15 %. 38 % de cette hausse résulte des découvertes de nouveaux champs et 62 % des réévaluations de champs existants. C'est au Moyen-Orient que la progression a été la plus forte, 33 %, due essentiellement à la réévaluation des réserves au Qatar, suite à des campagnes de forages. Les réserves de la zone Asie/Océanie ont progressé de 25 % sur la même période, en majorité grâce aux nouvelles découvertes : c'est en effet dans cette zone qu'ont été mis à jour la majorité des champs de grande taille découverts récemment. Enfin l'Afrique enregistre une hausse de ses réserves gazières de 25 % entre 2000 et 2005, sous l'impulsion des découvertes réalisées au Nigeria, en Égypte et en Angola. À l'inverse, les réserves de gaz en Europe ont diminué de 20 % depuis 2000.

Entre 2000 et 2004, 12 700 Gm³ de gaz ont été produits. Sur la même période, les découvertes de nouveaux gisements ont représenté 9 100 Gm³, permettant le remplacement de 71% du volume consommé dans le monde sur cette période.

Le reste de la production a été remplacé par des réévaluations de réserves de champs existants. On note d'importantes disparités régionales quant au renouvellement de la production par de nouvelles découvertes. Certaines zones ont un bilan très largement excédentaire, telles que l'Asie/Océanie, l'Amérique du Sud et l'Afrique qui ont renouvelé les volumes produits grâce à de nouvelles découvertes, à hauteur de 260, 187 et 180 % respectivement.

I. 3 Les réserves de charbon :

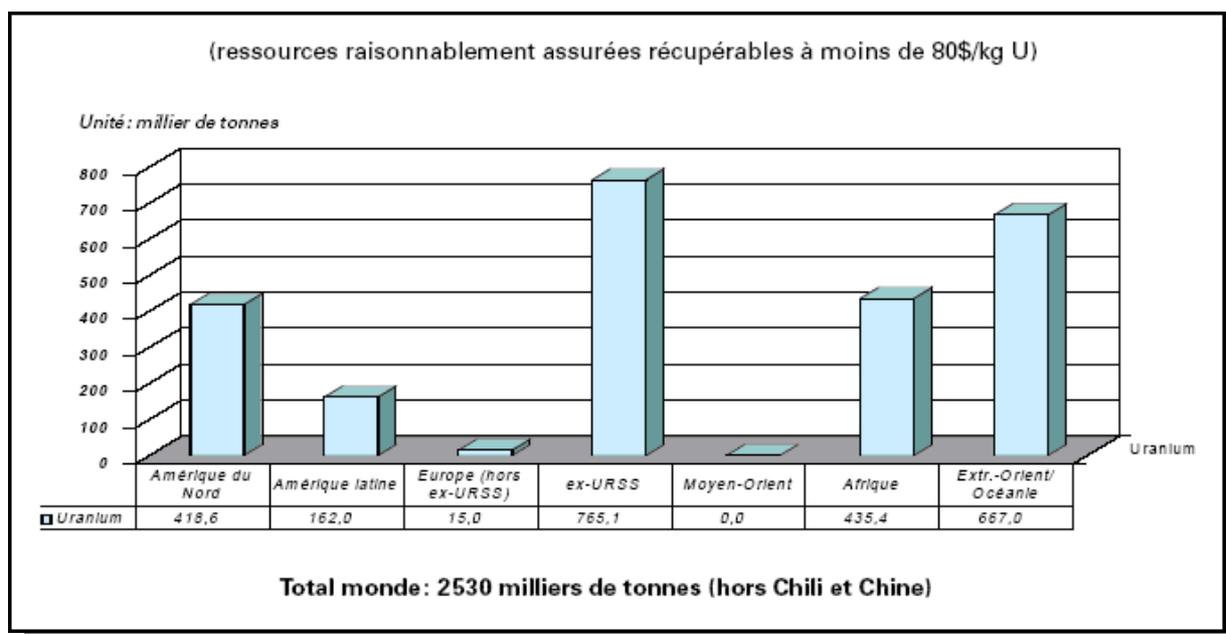
Ces réserves sont immenses : Plus de 40% des réserves mondiales se trouvent en Asie, essentiellement en Chine où l'immense gisement du Shanxi disposerait de près de la moitié des réserves du pays. L'Inde qui a entrepris la modernisation de ces mines, dispose de 16 milliards de tonnes de réserves prouvées planifiables.

L'Europe de l'est (dont la Russie et l'Ukraine) représente dans les évaluations actuelles plus du quart des réserves mondiales. L'Amérique du Nord renferme un peu plus de 25% des réserves mondiales prouvées, essentiellement aux Etats-Unis .La part de l'Australie et celle de l'Afrique du sud sont chacune voisines de 7% des réserves mondiales, mais ces deux pays bénéficient de gisements d'exploitation récents à très bas coût de revient.

I.4 Les réserves d'uranium:

Au cours des quelques dernières années, le marché mondial de l'uranium s'est caractérisé par une incertitude persistante à laquelle sont confrontés tant les producteurs que les consommateurs d'uranium du monde entier. Avec un parc nucléaire mondial en expansion, et une production d'uranium couvrant moins de 60 % de la demande, les stocks d'uranium ont continué de s'amenuiser à une cadence rapide. Malgré cette tendance, les informations nouvelles laissent penser que le marché de l'uranium continue d'être surabondant, en raison pour une large part du déblocage d'uranium à bas prix provenant des stocks gouvernementaux aux États-Unis et dans la Fédération de Russie.

Au 1er janvier 1999, les ressources classiques connues du monde récupérables à des coûts inférieurs ou égaux à \$ 130 par kilogramme d'uranium (kg d'U) s'élevaient à environ 3,95 millions de t d'U (tonnes d'uranium). Les ressources raisonnablement assurées (RRA) récupérables à des coûts inférieurs ou égaux à \$ 80/kg d'U représentaient au total à environ 3 millions de t d'U. L'ensemble des ressources classiques connues récupérables à des coûts inférieurs ou égaux à \$ 40/kg d'U était chiffré à 1,25 millions de t d'U.



Dans le monde, les principaux gisements d'uranium se trouvent dans les pays suivants : Australie, Afrique du Sud, Niger (mines d'Arlit), Gabon, Namibie, République démocratique du Congo (par exemple la mine de Shinkolobwe), Russie, Ouzbékistan , Kazakhstan, Canada et États-Unis.

La production mondiale d'uranium atteignit 45103 tonnes en 2001, dont 34% provient du Canada, le pays le plus important en matière de production d'uranium.

Les réserves mondiales prouvées d'uranium, c'est à dire les ressources récupérables à moins de 80\$/kg U, atteignent un total mondial de 2516 milliers de tonnes, hors Chili et Chine (AIEA/OCDE 2001). Les plus importantes ressources se trouvent en Australie (26%), au Kazakhstan (17%), au Canada (12%), en Afrique du Sud (9%), au Brésil (6,4%), en Namibie (5,7%), en Russie (5,5%), aux États-Unis (4,1%), en Ouzbékistan (3,6%), en Mongolie (2,4%), en Ukraine (1,7%), au Niger (1,2%) et en Algérie (1%).

II. Facteurs influant sur l’empreinte écologique : [28]

II. 1 Les émissions de gaz à effet à serre sont en hausse

Les activités humaines modifient l’atmosphère et il y a de fortes probabilités pour qu’elles soient aussi les principales responsables du réchauffement global survenu durant les cinquante dernières années.

De plus, les surfaces forestières théoriquement aptes à absorber une partie des gaz à effet de serre sont en recul partout dans le monde. Actuellement, ce sont encore les pays industriels qui sont à l’origine de la plus grande partie des rejets de gaz à effet de serre.

Toutefois, des économies nationales telles que celles de la Chine, de l'Inde et du Brésil commencent à avoir des rejets non négligeables. Sans progrès notables dans le domaine des technologies énergétiques et environnementales et sans changement des modes de consommation, les rejets de gaz de serre continueront d'augmenter.

II.2 Le recours au charbon

L'essor économique des pays nouvellement industrialisés se manifeste par une demande croissante de combustibles et de carburants fossiles qui implique une hausse du prix du pétrole. Il faut craindre alors que les pays pauvres recourent au charbon et au bois de chauffage, un choix qui ne manquera pas d'avoir des conséquences écologiques désastreuses. La consommation de charbon, dont il subsiste effectivement de grandes quantités, charge davantage le climat que celle de produits pétroliers. Une utilisation plus fréquente de bois de feu, pour sa part, accroît la charge sur les forêts, qui constituent des réserves écologiques précieuses.

II.3 Menace sur la diversité biologique

Aujourd'hui, il ne subsiste plus gère de surfaces terrestres sur la planète qui échappent à l'emprise humaine. La quasi-totalité des surfaces productives font l'objet d'une exploitation intensive, en particulier par l'agriculture.

Même des surfaces auparavant peu touchées, comme les forêts tropicales humides, sont désormais soumises à une pression toujours plus grande. Les besoins croissants en surface pour les utilisations par l'être humain peuvent entraîner la disparition des régions et des biotopes laissés à l'état naturel, nécessaires à la survie de nombreuses espèces.

La biodiversité de la Terre ne cessera de diminuer. Le recul du nombre d'espèces observe aujourd'hui dans les écosystèmes tant terrestres que marins. Une perte de biodiversité est irréversible et revient à réduire les possibilités d'utilisation des générations futures.

II.4 Les effets dissemblables de la globalisation

Débarassé de ses entraves, le commerce international va sans doute se développer encore tout en conservant des structures économiques très inégales.

L'échange de produits transformés intervient essentiellement entre pays du Nord, alors que les biens à valeur ajoutée moindre, agricoles ou miniers, ainsi que les produits semi-finis, sont essentiellement exportés du Sud vers le Nord.

Cette situation a deux conséquences: d'une part, le Nord couvre ses besoins en surfaces en recourant à la biocapacité du Sud, puisque les pays du Nord sollicitent les surfaces cultivées du Sud sous forme de plantations de cacao et de café; d'autre part, dans les niveaux de transformation moins élevés, les charges écologiques sont particulièrement élevées: c'est le cas des déchets miniers, des prises accessoires de la pêche, de l'érosion des sols suite à des modes d'exploitation agricoles non durables ou des émissions de l'industrie lourde.

Le Nord ne se contente donc pas de mettre à contribution les surfaces du Sud pour satisfaire ses besoins; il y transfère aussi une partie des activités à forte charge écologique.

II.5 La croissance démographique

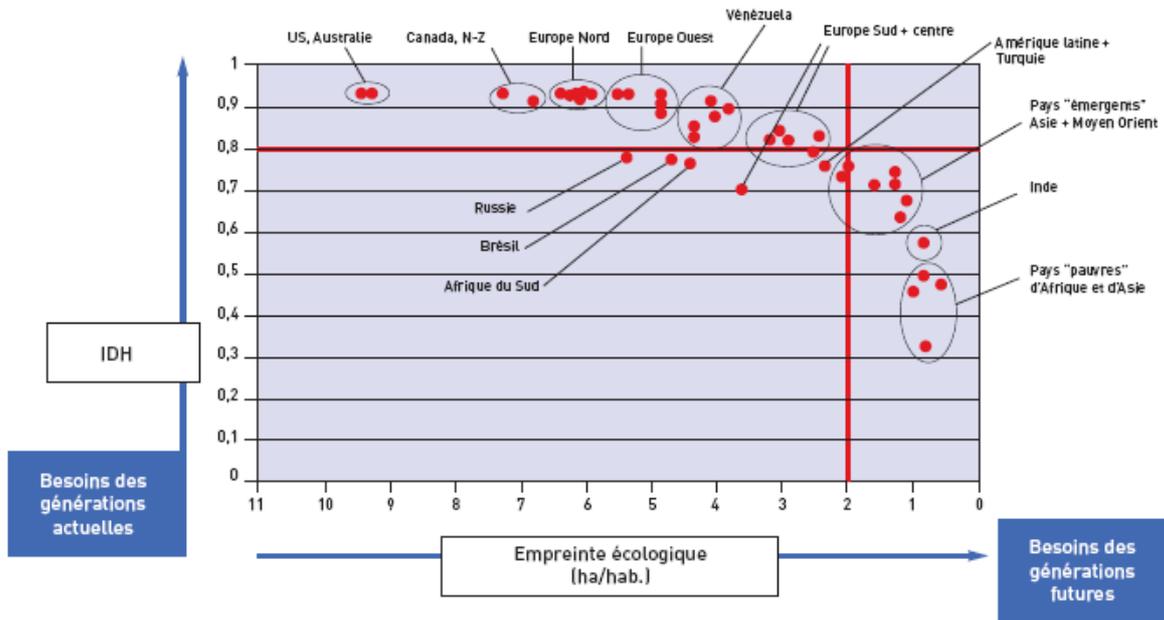
Même si en Europe, une démographie en baisse commence à poser problème, au plan mondial, la population ne cesse de croître, bien qu'à un rythme un peu moins rapide, mais toujours de l'ordre de grandeur de 70 millions de personnes par année.

La biocapacité globale ne pouvant guère augmenter, c'est une surexploitation encore plus prononcée des écosystèmes qui menace.

La croissance démographique globale, qui varie selon les régions, accentue le déséquilibre entre le Sud et le Nord: c'est dans le Sud que la croissance démographique est la plus forte. La charge exercée sur les écosystèmes s'en trouve accrue en conséquence.

II.6 Environnement et développement

L'évolution de l'empreinte écologique globale montre que l'humanité n'a pas encore mis le cap sur un développement durable. Au contraire: le déficit écologique de la Terre ne cesse de se creuser. Lorsqu'on compare l'empreinte écologique et l'indicateur de développement humain (IDH) de l'ONU en sa qualité d'indicateur du développement économique et social, on constate une ségrégation claire entre pays pauvres à IDH et empreinte écologique faibles d'une part et pays riches à IDH et empreinte écologique forts d'autre part.



Il n'existe guère de pays qui se situeraient dans un secteur d'IDH élevé et d'empreinte écologique faible, secteur que l'on pourrait qualifier de durable.

En considérant l'évolution des 20 à 30 dernières années, on constate que les pays les plus riches s'éloignent du secteur durable du fait de leur empreinte écologique toujours plus forte.

III Cycle de carbone [42]

III.1 Origine du carbone

Le cycle du carbone débute par l'arrivée de CO₂ à la surface de la Terre. Elle résulte du dégazage du manteau terrestre lors des éruptions volcaniques qui rejettent dans l'atmosphère différents gaz dont le dioxyde de carbone CO₂ et le monoxyde de carbone CO. Ainsi l'atmosphère primitive de la Terre était principalement composée de CO₂. Aujourd'hui ce dégazage continue avec des flux faibles: 0,1 Gt/an.

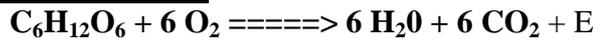
III.2 Echanges atmosphère-biosphère

Les êtres vivants échangent en permanence 60 Gt/an, dans les 2 sens, de carbone avec l'atmosphère : la fermentation, la respiration des bactéries, des animaux et des végétaux dégagent du CO₂. La photosynthèse des végétaux chlorophylliens fixe le carbone dans la matière organique ou biomasse. Ces deux mécanismes font à la fois partie du cycle du carbone et du cycle de l'oxygène. Ces échanges seraient équilibrés, si on ne tient pas compte de la déforestation.

Photosynthèse :



Respiration cellulaire :



Glucose + dioxygène gazeux =====> eau + dioxyde de carbone + energie

Fermentation



Glucose =====> dioxyde de carbone + énergie

Dans un écosystème qui est à l'état d'équilibre, la quantité nette de dioxygène produit par les organismes autotrophes (photosynthèse) est égale à la quantité de dioxygène consommé par les organismes hétérotrophes (respiration).

Annexe III :

Tableaux & Facteurs de conversion

I. Tableaux

I.1 Déficit (ou réserve) écologique de quelques pays : [09]

	Population (millions)	Empreinte écologique (gha/per)	Biocapacité (gha/per)	Réserve (+) ou déficit (-) écologique (gha/per)
Monde	6 301,50	2,2	1,8	-0,5
Pays à revenus élevés	955,6	6,4	3,3	-3,1
Pays à revenus moyens	3 011,70	1,9	2,1	0,2
Pays à faibles revenus	2 303,10	0,8	0,7	-0,1
Afrique	846,8	1,1	1,3	0,2
Algérie	31,8	1,6	0,7	-0,9
Egypte	71,9	1,4	0,5	-0,9
Gabon	1,3	1,4	19,2	17,8
Mauritanie	2,9	1,3	5,8	4,5
Maroc	30,6	0,9	0,8	-0,1
Libye	5,6	3,4	1	-2,4
Tunisie	9,8	1,5	0,8	-0,8
Asie	3 836,20	1,4	0,7	-0,7
Afghanistan	23,9	0,1	0,3	0,2
Australie	19,7	6,6	12,4	5,9
Chine	1 311,70	1,6	0,8	-0,9
Inde	1 065,50	0,8	0,4	-0,4
Iran	68,9	2,4	0,8	-1,6
Iraq	25,2	0,9	0	-0,8
Israël	6,4	4,6	0,4	-4,2
Japon	127,7	4,4	0,7	-3,6
Jordanie	5,5	1,8	0,3	-1,5
Kuwait	2,5	7,3	0,3	-7
Arabie Saoudite	24,2	4,6	1	-3,7
Syrie	17,8	1,7	0,8	-0,9
Turquie	71,3	2,1	1,4	-0,7
Emirats Arabes Unies	3	11,9	0,8	-11
Yémen	20	0,8	0,4	-0,5
Amérique du Nord	325,6	9,4	5,7	-3,7
Canada	31,5	7,6	14,5	6,9
Etats-Unis d'Amérique	294	9,6	4,7	-4,8
Amérique Latine	535,2	1,9	5,4	3,4
Argentine	38,4	2,2	5,8	3,5
Bolivie	8,8	1,3	15	13,6

Cuba	11,3	1,5	0,8	-0,6
	Population (millions)	Empreinte écologique (gha/per)	Biocapacité (gha/per)	Réserve (+) ou déficit (-) écologique (gha/per)
Panama	3,1	1,8	2,5	0,6
Paraguay	5,8	1,6	5,5	3,9
Uruguay	3,4	1,9	8	6
Venezuela	25,7	2,1	2,3	0,1
Europe	454,4	4,8	2,2	-2,6
Belgique & Luxembourg	10,8	5,6	1,2	-4,4
Finlande	5,2	7,6	12	4,4
France	60,1	5,6	3	-2,6
Allemagne	82,5	4,5	1,7	-2,8
Grèce	11	5	1,4	-3,6
Hongrie	9,9	3,5	2	-1,5
Italie	57,4	4,2	1	-3,1
Portugal	10,1	4,2	1,6	-2,6
Russie	143,2	4,4	6,9	2,5
Espagne	41,1	5,4	1,7	-3,6
Suède	8,9	6,1	9,6	3,5
Suisse	7,2	5,1	1,5	-3,6
Royaume Uni	59,5	5,6	1,6	-4

I.2 Classement des pays par revenu : [09]

Pays à revenus élevés	Allemagne, Arabie saoudite, Australie, Autriche, Belgique / Luxembourg, Canada, Danemark, Emirats arabes unis, Espagne, Etats-Unis d'Amérique, Finlande, France, Grèce, Irlande, Israël, Italie, Japon, Koweït, Norvège, Nouvelle-Zélande, Pays-Bas, Portugal, Rép. de Corée, Royaume-Uni, Slovénie, Suède, Suisse.
Pays à revenus moyens :	Afrique du Sud, Albanie, Algérie, Angola, Argentine, Arménie, Azerbaïdjan, Belarus, Bolivie, Bosnie-Herzégovine, Botswana, Brésil, Bulgarie, Chili, Chine, Colombie, Costa Rica, Croatie, Cuba, Egypte, Equateur, Estonie, Fédération de Russie (et URSS en 1975), Gabon, Géorgie, Guatemala, Honduras, Hongrie, Indonésie, Iran, Iraq, Jamaïque, Jordanie, Kazakhstan, Lettonie, Liban, Libye, Lituanie, Jamaïque, Paraguay, Pérou, Philippines, Pologne, Rép. dominicaine, Rép. tchèque, Roumanie, Salvador, Serbie et Monténégro, Slovaquie, Sri Lanka, Swaziland, Syrie, Thaïlande, Trinité-et-Tobago, Tunisie, Turkménistan, Turquie, Ukraine, Uruguay, Venezuela.
Pays à faibles revenus:	Afghanistan, Bangladesh, Bénin, Burkina Faso, Burundi, Cambodge, Cameroun, Congo, Côte d'Ivoire, Erythrée, Ethiopie, Gambie, Ghana, Guinée, Guinée-Bissau, Haïti, Inde, Kenya, Kirghizistan, Lesotho, Libéria, Madagascar, Malawi, Mali, Mauritanie, Mongolie, Mozambique, Myanmar, Népal, Nicaragua, Niger, Nigéria, Ouganda, Ouzbékistan, Pakistan, Papouasie-Nouvelle-Guinée, Rép. centrafricaine, Rép. dém. du Congo, Rép. de Moldova, Rép. dém. pop. lao, Rép. pop. dém. de Corée, Rép.-Unie de Tanzanie, Rwanda, Sénégal, Sierra Leone, Somalie, Soudan, Tadjikistan, Tchad, Togo, Vietnam, Yémen, Zambie, Zimbabwe.

I.3 : Pays membres de l'OCDE : [42]

Allemagne, Australie, Autriche, Belgique, Canada, Corée, Danemark, Espagne, Etats-Unis, Finlande, France, Grèce, Hongrie, Irlande, Islande, Italie, Japon, Luxembourg, Mexique,

Norvège Nouvelle-Zélande , Pays-Bas, Pologne, Portugal, République slovaque, République tchèque , Royaume-Uni, Suède, Suisse, Turquie.

I.4. Emissions de CO₂ dans le monde (1990-2004) : [11]

Données en MteqCO₂

Année	1971	1980	1990	2000	2002	2004	90-04(%)
Monde	14111,8	18069,1	20783,3	23455,1	24263,2	26583,3	27,9
Amérique du nord							
Canada	340,5	428	428,6	529,8	531,3	550,9	27,5
Etats-Unis d'Amérique	4296,8	4667,6	4841,7	5700,7	5654,4	5900	36,4
Afrique	266,5	410,9	549,7	696	735,6	814,2	48,1
Algérie	8,9	29,9	54,7	66,6	73,3	77,8	42,3
Egypte	20,4	42,3	79,2	110,9	125,7	140,5	77,5
Gabon	0,5	1,3	0,9	1,4	1,6	1,7	86,4
Maroc	6,8	14	19,6	29,5	33,4	35,5	81
Libye	3,7	18,6	27,4	39,7	42,1	43,5	59,1
Tunisie	3,7	7,8	12,1	18	18,8	19,7	63,2
Europe							
Finlande	40,1	55,5	55	54,9	63,9	68,9	8,9
France	435,4	464,8	355,3	379,1	379,1	386,9	-12,2
Allemagne	983,7	1060,3	966,4	827	832,8	848,6	33
Grèce	25,4	45,7	70,6	87,7	90,5	93,9	-19,5
Italie	295,2	362,5	398,4	425,8	434	462,3	17,5
Portugal	14,6	24,1	39,6	60	63,4	60,3	59
Espagne	120,8	189,4	207,4	285,6	304,2	329,8	0,6
Suède	83,3	74,2	51,9	49,9	52,6	52,2	7,9
Suisse	39,5	39,8	41,3	42,2	42,1	44,6	62,9
Royaume Uni	626,5	572,9	557,6	524,9	522,2	537,1	-3,7
Asie							
Chine	809,1	1405,1	2289	3016,9	3497	4768,6	108,3
Inde	199,1	294,6	588,3	971,5	1011,2	1102,8	87,5
Iran	41,4	92,3	175,3	304,8	335,7	369,4	110,7
Iraq	12,3	32,3	52,9	75,9	79	81,2	53,7
Israël	14,4	19,6	33,6	55,5	59,5	62,2	86,3
Jordanie	1,3	4,2	9,2	14,3	15	16,7	81,5
Kuwait	23,2	30,8	25,6	50,5	49,5	64,9	153,5
Arabie Saoudite	13,1	100,4	175,1	266,9	290,5	324,9	85,6
Emirats Arabes Unies	2,4	18,6	50,1	83,2	94,4	103,1	106,6
Yémen	1,2	3,4	6,4	13,2	15,2	17,3	168,4
Amérique Latine							
Argentine	83	95,9	100,4	134,3	114,7	136	35,4
Bolivie	201	4,3	5,4	7,6	8,6	10,5	91,9
Cuba	18,4	28,5	27,6	24,8	25	24,3	-11,8
Mexico	97,3	212,8	293,2	357,3	360,2	373,7	37,5
Paraguay	0,6	1,4	1,9	3,3	3,6	3,7	94,9
Venezuela	52,1	92,4	105,1	128,3	128,6	128,3	22,1

II. Facteurs de conversion :

II.1. Consommation énergétique/ Empreinte écologique / Bilan carbone :

II.1.1 Conversion Empreinte écologique / Bilan carbone (2003) [09] ; [11]

Millions de tonnes de CO ₂	Empreinte écologique (millions de gha)	Emission de CO ₂ (millions de tonne)	Facteur de conversion pour un hectare global (tonnes eq CO ₂)
Monde	14114,323	25 316	1,794
Canada	239,806	556,4	2,320
Etats-Unis	2819,262	5654,4	2,006
Belgique & Luxembourg	60,483	129,5	2,141
République tchèque	50,279	117,5	2,337
Danemark	30,858	56,6	1,834
Finlande	39,803	73	1,834
France	338,649	388,1	1,146
Allemagne	375,175	844,5	2,251
Grèce	54,913	94,1	1,714
Hongrie	34,566	56,8	1,663
Irlande	19,599	41,1	2,097
Italie	238,527	452,8	1,898
Pays Bas	70,915	185,1	2,610
Pologne	126,765	292,1	2,304
Portugal	42,201	58,9	1,396
Slovaquie	17,432	38,5	2,239
Espagne	219,982	313,3	1,424
Suède	53,878	54,4	1,010
Royaume Uni	332,688	534,3	1,606
Albanie	4,531	4	0,883
Bulgarie	24,564	46,5	1,893
Romanie	52,558	94,7	1,822
Serbie and Monténégro	24,014	49,5	2,161
1 global hectare=			1,849

II.1.2 Consommation énergétique / Bilan carbone : [35]

Le facteur de conversion est : 1 TEP = 2.3 Tonnes de CO₂

II.1.3 Tableau des conversions :

Equivalence Unité	TEP	Tonnes de CO ₂	Hectares globaux
TEP	1,00	2,30	1,25
Tonnes de CO ₂	0,43	1,00	0,54
Hectares globaux	0,80	1,85	1,00

II.2 Conversion en nombre de terre :

En partant du principe que la biocapacité de la terre est de 1.8hectares par personne, la Terre a une biocapacité de 11.3 milliard d'hectares.

II.3 Facteurs de conversion relatifs au transport : [34]

moyen de transport	Bilan carbone kg eq. C par pers.km	Emissions de CO2 kg eq. CO2 par pers.km	Empreinte écologique m ² par pers.km
Voiture	0,033	0,1215	0,6339
bus	0,025	0,0917	0,4784
train	0,0023	0,0084	0,0438

II.4 Facteurs de conversion relatifs au chauffage : [34]

- Pour obtenir 10 kWh thermique avec du charbon, il faut émettre 3.92 kilos équivalent CO₂ de gaz à effet de serre.
- Pour obtenir 10 kWh thermique avec du gaz, il faut émettre 2.26 kilos équivalent CO₂ de gaz à effet de serre.
- Pour obtenir 10 kWh thermique avec du fioul, il faut émettre 2.98 kilos équivalent CO₂ de gaz à effet de serre.
- Pour obtenir 10 kWh thermique urbain, il faut émettre 2.05 kilos équivalent CO₂ de gaz à effet de serre.

II.5 Facteurs de conversion relatifs à la consommation d'électricité : [30]

Emissions moyennes évaluées à 0.3 kilos équivalent CO₂ pour chaque kWh consommé.

III. Données concernant l'Algérie :

III.1 Evolution de la consommation énergétique finale par secteur : [36]

Année	Consommation énergétique par secteur			Consommation énergétique finale (KTEP)
	Industrie et BTP	Transport	Ménage et autres	
1980	2609	2598	3268	8475
1981	3149	2842	3330	9321
1982	3466	3206	3766	10438
1983	3577	3373	4148	11098
1984	4055	3469	4800	12324

1985	4270	3688	5285	13243
1986	4501	3907	5221	13629
1987	4554	4067	5511	14132
1988	4646	4183	5698	14527
1989	4195	4356	5831	14382
1990	3874	4384	5942	14200
1991	4002	4533	6562	15097
1992	4127	4495	6771	15393
1993	4077	4583	6990	15650
1994	3944	4243	6994	15181
1995	4167	4262	7317	15746
1996	4005	4202	7409	15616
1997	3802	4148	7276	15226
1998	4129	4261	8117	16507
1999	4218	4324	8658	17200
2000	4457	4654	9189	18300
2001	4610	4797	9588	18995
2002	4904	5312	10310	20526
2003	5149	5962	11313	22424
2004	5509	6010	12011	23530
2005	5817	5845	12850	24512

III.2 Évolution de la population : [39]

Année	Population
	millions
1980	20,17
1981	20,68
1982	21,19
1983	21,70
1984	22,21
1985	22,72
1986	23,23
1987	23,74
1988	24,25
1989	24,76
1990	25,02
1991	25,64
1992	26,27

Année	Population
	millions
1993	26,89
1994	27,50
1995	28,06
1996	28,57
1997	29,05
1998	29,51
1999	29,97
2000	30,42
2001	30,88
2002	31,36
2003	31,85
2004	32,36
2005	32,91

IV. Données concernant le département Génie Chimique :

- Le moyen de chauffage : 3 chauffages à gaz en moyenne 8 heures/jour : 4 mois sur douze

Nombre d'heures = 3(chauffages)*4(mois)*30(jours)*8(heures)=2880 heures de chauffage.

- Consommation d'électricité :

Consommation d'électricité au département Génie chimique	KWh
Administration : 8heures par jour 10 lampes de 75 watt	1500
Salles 20 Néons à 75 W/ 5 heures par jour	1875
Gardiennage 26 néons (salles + couloirs) 10 heures	4875
Laboratoire : 5 heures par jour équivalent de 5kW/labo/jour avec 2 labos en permanence	12500
Bibliothèque et informatique : 5 kW/8 heures /jour	10000
Hall 5 kW/jour sur 10 mois	1500
Climatisation: 5 climatiseurs: 4heures /jour; 3mois par an	2160
Total de la consommation d'électricité au département Génie des procédés	34410

Bibliographie

Bibliographie Générale :

- [1]. Journées de l'énergie :
Que sera le monde en 2030, Professeur C.E CHITOUR.
La 8^{ème} Journée de l'énergie : Vers une nouvelle crise de l'énergie ?, Mai 2004
La 9^{ème} Journée de l'Energie : la mondialisation et le développement durable, Avril 2005.
La 10^{ème} Journée de l'énergie : Les pays riverains de « Mare nostrum », Avril 2006.
La 11^{ème} Journée de l'énergie : Quelle stratégie à l'horizon 2030 ? , Avril 2007
Laboratoire de valorisation des énergies fossiles, Département Génie Chimique, ENP.
- [2]. « World Energy Outlook », International Energy Agency. Edition 2004
[3]. « World Energy Outlook », International Energy Agency. Edition 2006
[4]. « World Energy Technology Outlook 2050 », European Commission. Edition 2007
[5]. Rapport du sénat français sur l'état de la consommation mondiale des énergies fossiles. 2003.
[6]. « Le défi énergétique à la lumière des chiffres et des bilans », Institut De Conseil Et D'études En Développement Durable. Octobre 2006
[7]. Le défi pour la terre, fondation N. HULOT. 2006
[8]. « Ecological Footprint of Nations », J.VENETOULIS, D.CHAZAN, C.GAUDET. Edition 2004.
[9]. Rapport Planète vivante, WWF. Edition 2004
[10]. Rapport Planète vivante, WWF. Edition 2006
[11]. « CO₂ Emissions from Fuel combustion ». International Energy Agency Statistics. Edition 2006

Webographie:

- [12]. <http://www.planete-energies.com>.
[13]. <http://www.science-decision.fr>.
[14]. <http://www.notre-planete.info>
[15]. http://www.ulb.ac.be/sciences/intra/inforsc_archives/nrj/olbregts.htm.
[16]. <http://www.ifp.fr>
[17]. <http://ecolu-info.unige.ch/teach/LLMR02/cours-9/Energie,%20consommation.pdf>
[18]. <http://developpementdurable.revues.org/document.html?id=887#tocto2>
[19]. <http://www.defipourlaterre.org>
[20]. <http://www1.oecd.org/publications/observer/215/f-birol.htm>
[21]. <http://terresacree.org>
[22]. <http://www.greenfacts.org/ecosystems;>

- [23]. <http://www.footprintnetwork.org/>
- [24]. <http://www.passerelleco.info/>
- [25]. http://www.grandlyon.com/fileadmin/user_upload/Pdf/activites/environnement/Referentiel_environnement/empreinte_eco.pdf
- [26]. <http://www.geocities.com>
- [27]. <http://www.earthday.net>
- [28]. http://www.bfs.admin.ch/bfs/portal/fr/index/themen/nachhaltige_entwicklung/uebersicht/blank/publikationen.Document.86630.pdf
- [29]. http://www.ps-ge.ch/IMG/pdf/Dossier_special__PS_no_19_2006_06_02-2.pdf
- [30]. <http://www.ademe.fr/>
- [31]. <http://www.global-vision.org/city/footprintFR.html>
- [32]. http://www.empreinte.sita.fr/empreinte_ecologique/
- [33]. <http://www.effet-de-serre.gouv.fr/fr/etudes/giec.htm>
- [34]. <http://www.manicore.com/>
- [35]. <http://www.mem-algeria.org>
- [36]. <http://www.sonatrach.dz>
- [37]. <http://www.aprue.dz>
- [38]. <http://www.sonelgaz.dz>
- [39]. <http://www.ons.dz>
- [40]. http://www.studentsoftheworld.info/pagegeo_fr.php3?Pays=ALG
- [41]. http://www.lefigaro.fr/france/20070418.FIG000000005_des_kilos_de_co_caches_dans_nos_assiettes.html
- [42]. Encyclopédie Wikipédia.

Langage de programmation utilisé : DELPHI